

Nina Kuitunen

VIILUN MÄRKÄSAUMAUSTEIPIN TUOTEKEHITYS

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Diplomityö
Syyskuu 2019

TIIVISTELMÄ

Nina Kuitunen: Viilun märkäsaumausteipin tuotekehitys
Tampereen yliopisto
Materiaalitekniikan koulutusohjelma
Diplomityö
Syyskuu 2019

Tämän diplomityön tarkoituksena on kehittää viilun märkäsaumausteippi Lemtapes Oy:lle. Kehitettävän märkäsaumausteipin on toimittava Raute Oy:n valmistamassa märkäsaumauskoneessa. Työssä selvitetään märkäsaumausteipiltä vaaditut ominaisuudet, ominaisuuksien väliset riippuvuussuhteet, sekä tutkitaan millä materiaalivalinnoilla voidaan saavuttaa teipiltä vaaditut ominaisuudet. Tuotekehitysprojekti etenee Christian Weberin kehittämän Characteristics-properties modelling (CPM) / Property-driven development (PDD) -menetelmän mukaisesti.

Työ on tapaustutkimus, jossa teipin toimintaa tutkitaan märkäsaumausprosessissa ja Raute Oy:n valmistamassa märkäsaumauskoneessa. Työ sisältää kirjallisuustutkimuksen, jossa tutkitaan märkäsaumausteipin toiminnan taustalla vaikuttavia ilmiöitä ja mahdollisia liimamateriaaleja, sekä empiirisen tutkimuksen, jossa valittuja materiaaleja testataan. Testattavat materiaalit valitaan kirjallisuustutkimuksen ja yhteistyöyritysten kanssa käydyn keskustelun pohjalta. Työn lopputuloksena huomataan, että parhaat ominaisuudet teipille saavutetaan käyttämällä vanerin liimauksessakin käytössä olevaa melamiini-formaldehydihartsia. Myös polyvinyyliasetaatti dispersiolla saavutetaan hyviä tuloksia. Luonnonmateriaaleista valmistetut liimat sen sijaan eivät yllä ominaisuuksiltaan tässä sovelluksessa vaadittavalle tasolle.

Avainsanat: märkäsaumaus, märkäsaumausteippi, tuotekehitys, CPM/PDD-menetelmä.

ABSTRACT

Nina Kuitunen: Product development of green veneer tape
Tampere University
Materials science and engineering
Master's thesis
September 2019

The aim of this master's thesis is to develop a green veneer tape for Lemtapes Oy. The green veneer tape must operate with veneer composing machine manufactured by Raute Oyj. This thesis is a case study, where the behavior of tapes is researched in an existing composing process. The study consists of the literature study part, phenomena behind the behavior of green veneer tape, exploration of adhesive materials and the empirical testing part where selected materials are tested. The materials are selected based on the literature study and discussions with co-operating companies.

In the empirical part, demands of the green veneer tape and dependencies between the properties of green veneer tape are researched. The empirical testing aims to determine which material choices achieve the required properties. The product development process proceeds according to Characteristics-properties modelling (CPM) / Property-driven development (PDD) method developed by Christian Weber. Results of the study show that the best properties of the tape are achieved with melamine-formaldehyde resin which is also used in plywood gluing. Good properties are also achieved with polyvinyl acetate dispersion. However, adhesives from natural resources don't achieve the required properties.

Keywords: Green veneer composing, Green veneer tape, Product development, CPM/PDD method

ALKUSANAT

Tässä se nyt on, kauan odotettu diplomityöni. Tämä diplomityöprojekti on ollut erittäin mielenkiintoinen ja opettanut paljon. Olen päässyt tutustumaan isoon joukkoon uusia ihmisiä ja saanut olla osa Lemtapes Oy:n työyhteisöä. Diplomityön valmistuminen on toki helpottavaa, mutta on myös toisaalta haikeaa päästää irti tästä projektista, jonka parissa on viettänyt niin paljon aikaa viimeisen 8 kuukauden aikana.

Ensinnäkin haluan kiittää Lemtapes Oy:n Sami Liponkoskea ja Kyösti Haapojaa tilaisuudesta päästä mukaan tähän projektiin. Työ on ollut mielenkiintoista ja on opettanut minulle huimasti. Oli mukava olla osa Lemtapes Oy:n tiimiä. Kiitos Prefere Resins Finland Oy, Dogwha Finland Oy, Kotkamills Oy, Billerudkorsnäs Finland Oy, Beardow Adams Oy sekä CH polymers Oy asiantuntija-avusta ja kaikista näytteistä, jotka sain testattavaksi tätä työtä varten. Lämmin kiitos kuuluu myös työni ohjaajille Jurkka Kuusipalolle ja Tero Juutille. Teidän neuvonne olivat todella tärkeitä, jotta työni löysi oikean suunnan.

Lisäksi haluan kiittää läheisiäni kaikesta tuesta ja kannustuksesta, jota olen saanut näiden yliopistovuosien aikana. Erityisesti kiitos Ristolle tukemisesta ja rinnalla kulkemisesta myötä- ja vastamäessä sekä vertaistuesta tätä työ tehdessä.

SISÄLLYSLUETTELO

| | |
|---|----|
| 1. JOHDANTO | 1 |
| 2. TYÖN TAUSTA..... | 2 |
| 2.1 Kehitettävän teipin käyttökonteksti | 2 |
| 2.1.1 Vanerin valmistus..... | 2 |
| 2.1.2 Viilun saumaus | 3 |
| 2.2 Tuotekehitys | 5 |
| 2.2.1 Tuotekehitysprosessi yleisesti..... | 5 |
| 2.2.2 Tuotekehitysmenetelmän valinta..... | 7 |
| 2.2.3 Ulrich & Eppingerin yleinen tuotekehitysmalli | 8 |
| 2.2.4 Stage-Gate-menetelmä..... | 9 |
| 2.2.5 CPM/PDD-menetelmä | 11 |
| 3. TUTKIMUSSUUNNITELMA | 13 |
| 3.1 Projektin tavoitteet ja rajausta | 13 |
| 3.2 Ongelmanasettelu ja tutkimuskysymykset..... | 14 |
| 3.3 Tutkimusstrategia..... | 15 |
| 4. TEORIA | 16 |
| 4.1 Adheesio..... | 16 |
| 4.2 Puun liimaus | 18 |
| 4.3 Liiman koostumus | 19 |
| 4.4 Liima-aineet | 21 |
| 4.4.1 Formaldehydihartsit | 21 |
| 4.4.2 Polyvinyylisetaatti..... | 24 |
| 4.4.3 Ligniini | 25 |
| 4.4.4 Tärkkelys | 26 |
| 4.5 Paperin ominaisuudet | 27 |
| 5. TUOTTEEN OMINAISUUDET | 30 |
| 5.1 CPM/PDD-menetelmän soveltaminen | 30 |
| 5.2 Tuotteen vaatimusten määrittely | 31 |
| 5.3 Ominaisuuksien riippuvuussuhteet..... | 35 |
| 5.4 Materiaalien testaus..... | 36 |
| 6. TUOTEKEHITYSPROSESSI | 39 |
| 6.1 Ensimmäinen iteraatiokierros | 39 |
| 6.2 Toinen iteraatiokierros..... | 44 |
| 6.3 Kolmas iteraatiokierros..... | 48 |
| 7. ARVIOINTI..... | 51 |

| | | |
|-----|---------------------------------------|----|
| 7.1 | Teipin arviointi..... | 51 |
| 7.2 | Jatkokehityssuunnitelmat | 53 |
| 7.3 | CPM/PDD-menetelmän hyödyntäminen..... | 54 |
| 7.4 | Tuotekehitysprosessin arviointi | 55 |
| 8. | YHTEENVETO..... | 58 |
| | LÄHTEET | 59 |

LIITE A: PROJEKTIN VIRTAAUSKAAVIO

KUVALUETTELO

| | |
|--|-----------|
| <i>Kuva 1 Vanerin valmistuskaavio. perustuu lähteeseen (Akkanen, Jännes et al. 2017)</i> | <i>2</i> |
| <i>Kuva 2 Prosessin virtauskaaviot kolmeen erilaiseen tuotekehitysprosessiin (Ulrich, Eppinger 2012)</i> | <i>7</i> |
| <i>Kuva 3 Erilaisten tuotekehitysmenetelmien analyysi ja vertailu (Lehtonen, Juuti et al. 2011).....</i> | <i>8</i> |
| <i>Kuva 4 Tyypillinen Stage-Gate-prosessi (Edgett 2018).....</i> | <i>10</i> |
| <i>Kuva 5 PDD-prosessin neljä toimenpidettä (Condrad, Köhler et al. 2008)</i> | <i>12</i> |
| <i>Kuva 6 Saumattu testikappale (Dai, He et al. 2009).....</i> | <i>23</i> |
| <i>Kuva 7 Saumattu testikappale</i> | <i>34</i> |
| <i>Kuva 8 Ominaisuuksien ja tunnuspiirteiden riippuvuussuhteet.....</i> | <i>35</i> |
| <i>Kuva 9 Saumauslaite.....</i> | <i>37</i> |
| <i>Kuva 10 ensimmäisen kierroksen synteesi</i> | <i>39</i> |
| <i>Kuva 11 FF-hartsin arviointi ensimmäisen testikierroksen jälkeen.</i> | <i>41</i> |
| <i>Kuva 12 MF-hartsin arviointi ensimmäisen testikierroksen jälkeen.....</i> | <i>41</i> |
| <i>Kuva 13 FMF-hartsin arviointi ensimmäisen testikierroksen jälkeen.....</i> | <i>42</i> |
| <i>Kuva 14 UF-hartsin arviointi ensimmäisen testikierroksen jälkeen.</i> | <i>42</i> |
| <i>Kuva 15 PVAc-akrylaatti dispersion arviointi ensimmäisellä testikierroksen jälkeen.</i> | <i>43</i> |
| <i>Kuva 16 Tärkkelys-SA dispersion arviointi ensimmäisen testikierroksen jälkeen.</i> | <i>43</i> |
| <i>Kuva 17 Toisen iteraatiokierroksen synteesi.....</i> | <i>44</i> |
| <i>Kuva 18 FF-hartsin arviointi toisen testikierroksen jälkeen.....</i> | <i>45</i> |
| <i>Kuva 19 MF-hartsin arviointi toisen testikierroksen jälkeen.....</i> | <i>46</i> |
| <i>Kuva 20 FMF-hartsin arviointi toisen testikierroksen jälkeen.....</i> | <i>46</i> |
| <i>Kuva 21 PVAc-akrylaatti dispersion arviointi toisen testikierroksen jälkeen.....</i> | <i>47</i> |
| <i>Kuva 22 Tärkkelys-SA dispersion arviointi toisen testikierroksen jälkeen.....</i> | <i>47</i> |
| <i>Kuva 23 Kolmannen iteraatiokierroksen synteesi.....</i> | <i>48</i> |
| <i>Kuva 24 PVAc-akrylaatin arviointi 3. iteraatiokierroksen jälkeen</i> | <i>49</i> |
| <i>Kuva 25 MF-hartsin arviointi 3. iteraatiokierroksen jälkeen</i> | <i>49</i> |

LYHENTEET JA MERKINNÄT

| | |
|--------|--------------------------------------|
| CPM | Characteristics-properties modelling |
| PDD | Property-driven development |
| FF | Fenoli-formaldehydi |
| MF | Melamiini-formaldehydi |
| UF | Urea-formaldehydi |
| PU-PL | 1-komponenttinen polyuretaaniliima |
| PU-ISO | 2-komponenttinen polyuretaaniliima |
| FRF | Fenoli-resorsinoli-formaldehydi |
| MG | Melamiini-glyoksaali |
| PVAc | Polyvinyyliasetaatti |
| PVA | Polyvinyyliakrylaatti |
| PVOH | Polyvinyylialkoholi |
| pMDI | Difenylimetaani di-isosyanaatti |
| BA | Butyyliakrylaatti |

1. JOHDANTO

Tämä diplomityö syntyi Lemtapes Oy:n tarpeesta kehittää viilun märkäsaumaukseen sopiva teippi. Lemtapes Oy valmistaa etyleeni-vinyyli-asetaatti pohjaista kuumasulalankaa, jota käytetään viilun kuivasaumauksessa. Markkinoilla on kuitenkin myös saumauskoneita, joilla viilu voidaan saumata märkänä. Suomessa märkäsaumauskoneita valmistaa Raute Oyj, joka valmistaa myös omaa märkäsaumausteippiä. Märkäsaumauskoneiden yleistyessä Lemtapes Oy haluaa tuoda markkinoille oman märkäsaumausteipin.

Viilujen saumaaminen parantaa puuraaka-aineen käyttöastetta vanerin valmistuksessa. Viilut valmistetaan sorvaamalla tukista ohutta levyä. Viilulevystä poistetaan suurimmat virheet, kuten oksankohdat ja halkeamat, jolloin lopputuloksena on erikokoisia viiluarkkeja. Viiluarkit lajitellaan ominaisuuksien mukaan väli- ja pintaviiluihin. Jotta viilusta pystyttäisiin hyödyntämään mahdollisimman suuri osa, viiluarkit saumataan halutun kokoisiksi levyiksi. Suurempien viilulevyjen käsittely tuotantoprosessissa on myös helpompaa, kuin yksittäisten arkkien. (Akkanen, Jännes et al. 2017)

Perinteisesti vaneriteollisuudessa käytössä on kuivasaumaus, jossa viilut kuivataan ennen niiden leikkaamista ja saumaamista. Märkäsaumauksella saadaan tehostettua loppukäyttöön päätyvän viilun kuivauskapasiteettia, kun viilut valmistellaan käyttövalmiiksi arkeiksi ennen kuivausta. Perinteisesti viilun saumauksessa ovat käytössä kuumasulaliimalangat, jotka eivät sovellu märkäsaumaukseen, sillä ne eivät kestä viilun kuivauksen lämpötiloja. Uudella märkäsaumausteipillä voitaisiin myös korvata muovipohjaiset saumausteipit luonnonmukaisemmalla vaihtoehdolla.

Tässä työssä toteutetaan märkäsaumausteipin tuotekehitys Christian Weberin kehittämän CPM/PDD-menetelmän mukaisesti. Työn tarkoituksena on selvittää mitkä ovat teipiltä vaaditut ominaisuudet ja millä materiaaleilla ominaisuudet voidaan saavuttaa. Lisäksi työssä esitellään yleisesti käytössä olevia tuotekehitysprosesseja ja arvioidaan toteutunutta prosessia niiden pohjalta.

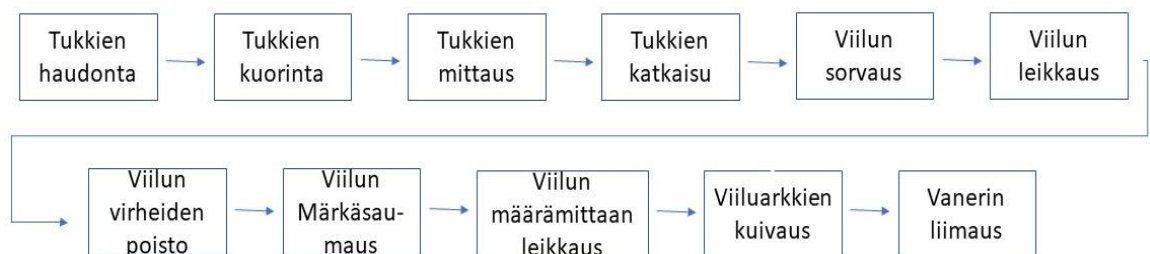
2. TYÖN TAUSTA

2.1 Kehitettävän teipin käyttökonteksti

Tässä osiossa esitellään konteksti, jossa märkäsaumausteippiä käytetään. Jotta tuotetta voidaan lähteä kehittämään, on tärkeää ymmärtää jo olemassa olevia ratkaisuja, jotka vaikuttavat tuotteeseen. Märkäsaumausteipin toimintaan vaikuttaa vanerin valmistusprosessi, sillä saumatun viilun on toimittava saumausta seuraavissa valmistusvaiheissa. Lisäksi on ymmärrettävä yksityiskohtaisesti märkäsaumauskoneen toiminta ja sen tuomat vaatimukset teipille.

2.1.1 Vanerin valmistus

Vaneri koostuu ohuista puuviiluista, jotka liimataan yhteen kerrosrakenteeksi. Vanerin valmistuksessa käytettävät viilut valmistetaan sorvaamalla tukista ohutta levyä. Suomessa vaneria valmistetaan pääasiassa koivusta ja havupuista. Kuvassa 1. esitetään vanerin valmistuksen vaiheet, kun käytössä on märkäsaumaus. Kuivasaumauksessa viilu kuivataan ennen saumausta.



Kuva 1 Vanerin valmistuskaavio. perustuu lähteeseen (Akkanen, Jännes et al. 2017)

Vanerin valmistus alkaa tukkien haudonnalla. Haudonnassa puun sisälämpötila nousee ja puu kostuu. Tämä parantaa puun leikkautuvuutta sorvauksessa, sekä sorvatun viilun laatua. Haudottuna sorvatun viilun pinnasta saadaan sileämpää verrattuna kuivana sorvattuun puuhun. Viilun sileämpi pinta parantaa vanerin laatua ja haudottuna sorvatun viilun poikittaisvetolujuus on parempi, kuin hautomatta sorvatun. Sileä pinta myös pienentää liiman kulutusta vanerin valmistuksessa. Tukit kuoritaan haudonnan jälkeen. Kuorineen hautominen ehkäisee värivikojen syntymistä puuhun. Kuorimisen jälkeen tukit leikataan käyttösovelluksesta riippuvaan määrämittaansa. (Akkanen, Jännes et al. 2017)

Määrämittaan leikatuista tukeista sorvataan yhtenäinen viilumatto. Viilun paksuus koivulla on yleensä 1,5 mm ja havuviiluilla 2,0 – 3,3 mm. Sorvattu viilu lajitellaan sen laadun mukaan pinta- ja sisäviiluihin. Viilusta poistetaan suuret virheet, kuten oksan paikat ja halkeamat. Konenäön avulla optimoidaan leikkauskohdat niin, että viilun saanto virheiden poiston jälkeen on mahdollisimman suuri. Pienemmät viilun kappaleet saumataan yhteen ja saumattu viilumatto leikataan lopullisen vanerin leveyteen. (Akkanen, Jännes et al. 2017)

Kuivauksessa viilu kuivataan liimauksen kannalta sopivaan kosteusprosenttiin. Liian kostea viilu heikentää liiman toimivuutta ja kuumapuristuksessa vapautuva höyry saattaa vahingoittaa vanerin rakennetta. Viilu voidaan kuivata verkkokuivauskoneella, jolloin viilu syötetään koneeseen yhtenäisenä mattona, tai viilut voidaan leikata arkeiksi heti sorvauksen jälkeen ja kuivata telakuivauskoneella. Viilujen kosteusprosentti kuivauksen jälkeen on 6-7 %. Kuivauskoneen lämpötila on 175-180 °C ja kuivaus kestää 3 - 6 minuuttia riippuen puulajista ja viilun paksuudesta (Akkanen, Jännes et al. 2017, Koskisen 2016)

Kuivatut viiluarkit pinotaan ristikkäiseksi levyrakenteeksi. Ristikkäisessä rakenteessa viilujen syynsuunnat ovat ristikkäisiin suuntiin päällekkäisissä kerroksissa. Vaneri koostuu usein parittomasta määrästä viilukerroksia ja vanerin paksuus määräytyy kerroksien lukumäärän mukaan. Liima levitetään viilulle levitysmenetelmästä riippuen molemmin puolin tai vain toiselle puolelle. Tehtaasta riippuen viilut pinotaan käsin, puoliautomaattisilla syöttäjillä tai täysin automaattisilla ladontalinjoilla. Automaattisilla ladontalinjoilla viilut syötetään imukuppitarttujilla tai robottitarttujilla. Automaattisten ladontalinjojen kuljettimet ovat hihna- tai rullakuljettimia. Liiman levityksen ja pinoamisen jälkeen vaneri liimataan kuumapuristimella, jossa liima kovettuu lämmön ja paineen vaikutuksesta. (Akkanen, Jännes et al. 2017)

2.1.2 Viilun saumaus

Kun viilumatto leikataan ja viilusta poistetaan virheet, kuten oksat, reiät ja halkeamat, syntyy erilevyisiä viilun kappaleita. Kapeiden viilun kappaleiden käsittely tuotantolinjalla on vaikeaa. Viilut saumataan, jotta arvokas puuainne saadaan hyödynnettyä mahdollisimman tehokkaasti. Perinteisessä kuumasaumauksessa viilun kappaleet saumataan kuivauksen jälkeen kuumaliimalangalla. Tarvittaessa viilujen rajapintaan

voidaan lisätä liimapisaroita, jotka lisäävät viilun leveyssuuntaista lujuutta. (Akkanen, Jännes et al. 2017)

Sauman tulee olla tarpeeksi kestävä, jotta pienempien viilun kappaleiden hyödyntämisellä saumaamalla saavutetaan etua vanerin valmistusprosessissa. Sauman tulee kestää viilujen siirtäminen seuraavissa valmistusvaiheissa, viilujen väliin ei saa jäädä suuria rakoja, eikä saumaus saa aiheuttaa viilujen limittymistä. Viilujen limittyminen aiheuttaa paksuusvaihtelua valmiissa vanerissa, joka aiheuttaa laadullisia ongelmia vaneriin. Prosessin tehokkuuden kannalta on tärkeää, että sauma muodostuu mahdollisimman nopeasti. Märkäsaumauskoneen teho on noin 400 m / h, kun saumattavat kappaleet ovat noin 400 mm leveitä. Kapeimmillaan saumattava kappale voi olla 150 – 200 mm leveä. (Akkanen, Jännes et al. 2017)

Märkäsaumausmenetelmän kehitys on lähtenyt vaneritehtaiden tarpeesta tehostaa vanerin valmistusprosessia. Vanerin valmistusprosessissa viilujen kuivaus on eniten energiaa kuluttavin yksittäinen prosessi ja perinteisessä kuivasaumausprosessissa, jossa viilut kuivataan ennen saumaamista, loppukäyttöön päätyvät huono viiluaines ja kapeat viilun kappaleet vievät kuivauksen kapasiteettia. Märkäsaumauksella saadaan kasvatettua viilun kuivaimen käyttökapasiteettia. (Akkanen, Jännes et al. 2017)

Märkäsaumauksessa viilun kappaleet liitetään leveyssuunnassa yhteen paperipohjaisen teipin avulla ennen kuivausta. Märkäsaumauskoneessa teippipala tuodaan viilun päälle teipin kuljettimella ja siitä leikataan sahalaitainen pala, joka kiinnitetään viilun pintaan kuumapuristimella. Viilut saumataan molemmin puolin. Saumaan käytetään hieman alle 5 cm levyisiä teipin palasia ja 1,6 m pituiseen viiluun käytetään molemmin puolin enintään seitsemän teippipalaa. (Akkanen, Jännes et al. 2017)

Viime vuosina julkaistujen tutkimusten ja artikkeleiden perusteella vanerin valmistukseen kehitetään koko ajan ympäristölle ja ihmiselle turvallisempia liimavaihtoehtoja, jotka eivät ole riippuvaisia öljyn hinnasta. Kuivasaumauksessa käytössä oleva teippi koostuu polyesterilangasta ja etyleeni-vinyylisetaatti kuumasulaliimasta (Lemtapes 2018). Paperisen märkäsaumausteipin korvata aiemmin käytössä olleen liimanauhan, on mahdollisuus siirtyä myös saumauksen materiaaleissa luonnonmukaisempiin vaihtoehtoihin. Vanerin liimaukseen kehitetyistä liimoista löytyy paljon tutkimustietoa, mutta ei juurikaan saumauksessa käytetyistä liima-aineista. Ongelmana luonnonmukaisempien liimojen kohdalla on suhteellisen huono kosteudenkesto.

2.2 Tuotekehitys

Tässä osiossa esitellään erilaisia tapoja toteuttaa tuotekehitysprosessi. Tuotekehitysprojektien tueksi on kehitetty useita erilaisia prosessimalleja ja menetelmiä. Oikean tuotekehitysmallin valinta ei aina ole yksiselitteistä, mutta mallia valitessa tulee tarkastella projektin lähtökohtia ja tavoitteita sekä valita malli, joka tukee tavoitteisiin pääsyä.

2.2.1 Tuotekehitysprosessi yleisesti

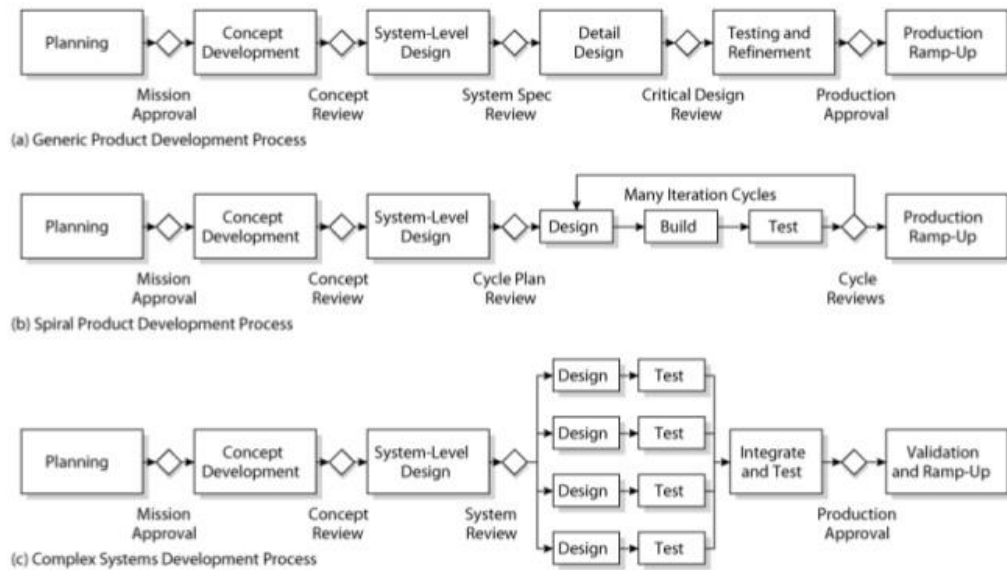
Menestyäkseen on yrityksen osattava tunnistaa asiakkaiden tarpeet ja tuottaa nopeasti tuotteita, jotka vastaavat näihin tarpeisiin. Tähän tavoitteeseen pääsemiseksi voidaan suunnittelun tukena käyttää erilaisia tuotekehitysmenetelmiä ja -prosesseja. Tuotekehitys on kokoelma tehtäviä, joiden tarkoituksena on tuottaa tuote myytäväksi asiakkaille. Prosessi terminä taas käsittää sarjan vaiheita, joissa syötteet muunnetaan tuotoksiksi. Tuotekehitysprosessissa ideoista syntyy systemaattisella suunnittelulla kaupallistettava tuote. Systemaattisen tuotekehitysprosessin tarkoituksena on saavuttaa taloudellista etua. Hyvin määritellyn tuotekehitysprosessin avulla voidaan varmistaa projektin laatu ja toimiva yhteistyö projektin eri osapuolten välillä. Onnistuneen tuotekehitysprosessin myötä on mahdollista saavuttaa taloudellista etua, kun tuotteet saadaan markkinoille nopealla aikataululla ja tuotteet valmistetaan laadukkaasti ja tehokkaasti. (Ulrich, Eppinger 2012)

Tuotekehitysprosessin onnistumista voidaan arvioida seuraavien kriteerien perusteella: tuotteen laatu, tuotteen kustannukset, kehitykseen kulunut aika, kehityksen kustannukset ja kehityksestä suoriutuminen. Tuotteen laadulla on suuri merkitys tuotteen saavuttamaan markkinaosuuteen ja hintaan, jonka asiakas on tuotteesta valmis maksamaan. Tuotteen laatua arvioidaan suhteessa sen kehitykseen käytettyihin resursseihin ja sille asetettuihin vaatimuksiin. Tuotteen kustannukset syntyvät tuotteen kehittämisestä ja valmistuksesta, ja tuotteesta saatu voitto on verrannollinen sen valmistamiskustannuksiin. Kehitysprosessiin kulunut aika ja kustannukset kertovat yrityksen kyvykkyydestä vastata markkinoiden kysyntään ja vaikuttavat siihen, millä aikataululla kehitetty tuote alkaa tuottaa tulosta. Kehitysprosessista suoriutumisen arviointi antaa tietoa kehitystiimin kyvykkyydestä suoriutua seuraavista kehitysprosesseista. (Ulrich, Eppinger 2012)

Käytettävän tuotekehitysmenetelmän valinta riippuu tavoitteen selkeydestä projektin alussa. Useimmiten suunnitteluprosessin ensimmäinen vaihe on vaatimuslistan laatiminen, mutta on myös hyvin todennäköistä, että vaatimuslista muuttuu ja täydentyy projektin edetessä. Yleinen tuotekehitysprosessimalli on geneerinen prosessi, jolloin projektissa edetään suoraviivaisesti vaihe vaiheelta eteenpäin. Jokaisen vaiheen välissä suoritetaan arviointi ja tehdään päätös projektin etenemisestä. Geneerisessä tuotekehitysmallissa prosessi alkaa tuotemahdollisuuden havaitsemisella. Projekti voi alkaa myös uuden teknologian kehittämällä tai tuotekehitys voi olla kokonaan uuden tuotteen kehittämisen sijasta olemassa olevan tuotteen parantelua tai tuotteen kehittämistä jo olemassa olevaan tuoteperheeseen. (Ulrich, Eppinger 2012)

Geneerinen tuotekehitysprosessimalli antaa hyvän pohjan tuotekehitykselle, mutta käytännön prosessit sisältävät usein yksilöllisiä haasteita, joiden mukaan prosessia tulee muokata kuhunkin projektiin sopivaksi. Tuotekehitysmenetelmä tulee mukauttaa kunkin projektin tavoitteiden ja valitun tuotestrategian mukaiseksi. Geneerinen malli on usein käytössä markkinavetoisen tuotteen kehittämisessä, jossa markkinoilla on havaittu liiketoimintamahdollisuus ja tähän markkinarakoon halutaan kehittää tuote millä tahansa olemassa olevalla tekniikalla. Erilaisia variaatioita tuotekehitysprosessiin tarvitaan, kun tuotetta lähdetään kehittämään esimerkiksi uuden teknologian pohjalta, olemassa olevaan tuotealustaan, tai kehitettävänä on monimutkainen systeemi, joka sisältää useita osasysteemejä. (Ulrich, Eppinger 2012)

Systemaattisessa prosessissa tehtävät tehdään tietyssä järjestyksessä. Joissain projekteissa vaaditaan iterointia, eli palaamista edelliseen vaiheeseen, tarvittaessa useita kertoja, mutta tehtävien järjestys ei muutu. (Lehtonen, Juuti et al. 2011) Tällaisen prosessin kulkua voidaan kuvata prosessin virtauskaaviolla. Prosessin virtauskaaviota voidaan käyttää projektin havainnollistamiseen kaikille projektin osapuolille. Kuvassa 2 esitellään kolmen erilaisen prosessin virtauskaaviot.



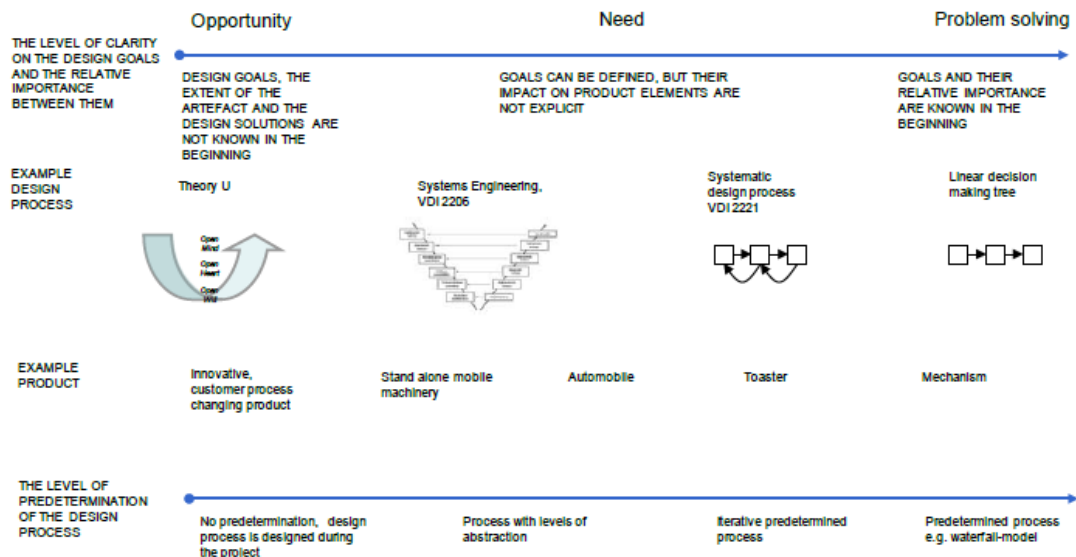
Kuva 2 Prosessin virtauskaaviot kolmeen erilaiseen tuotekehitysprosessiin (Ulrich, Eppinger 2012)

Virtauskaaviossa esitetään projektin tehtävät niiden suoritusjärjestyksessä. Kunkin tehtävän jälkeen suoritetaan yhteenveto / analyysi, jonka pohjalta tehdään päätös projektin jatkamisesta. Virtauskaaviosta a nähdään, kuinka geneerinen prosessi etenee lineaarisesti alusta loppuun. Joissain projekteissa sen sijaan on kannattavampaa hioa yksityiskohtia erilaisten testien ja esimerkiksi prototyyppien avulla jopa useampien iteraatiokierrosten ajan. Virtauskaavio b esittää tällaisten "quick-build"-tuotteiden kehitysprosessia. Kun tuote on osa monimutkaista systeemiä ja se sisältää mahdollisesti useita osasysteemejä, voidaan kullekin osasysteemille tehdä oma testijärjestely, kuten kuvassa c. (Ulrich, Eppinger 2012)

2.2.2 Tuotekehitysmenetelmän valinta

Kuten edellisessä osiossa todettiin, sama prosessi ei toimi kaikkeen tuotekehitykseen ja projektia aloitettaessa käytettävät prosessit ja menetelmät olisikin hyvä valita sopiviksi aina kyseiseen projektiin. Menetelmien ja prosessin valinta tulisi tehdä projektin lähtötilanteen ja tavoitteen perusteella. Lehtonen et al. (2011) mukaan tuotekehitysmenetelmä tulisi valita sen mukaan kuinka selkeä ja yksityiskohtainen projektin tavoite on lähtötilanteessa. Kuvassa 3 on vertailtu erilaisia menetelmiä. Oikealla puolella ovat menetelmät, jotka soveltuvat käyttöön silloin, kun prosessin tavoitteet ovat selvillä ja yksityiskohtaisesti määriteltäviä prosessin alussa. Keskellä olevissa menetelmissä oletetaan prosessin tavoitteiden olevan selvillä, mutta tuotteen ominaisuudet ja rakenne määrittäytyvät prosessin aikana. Vasemmalla puolella olevat menetelmät soveltuvat projekteihin, joissa sekä tavoitteet, että tuotteen ominaisuudet

ovat epäselviä prosessin alussa. Näiden menetelmien tehtävänä on johdattaa prosessia niin, että tavoitteet selkiytyvät prosessin kuluessa. (Lehtonen, Juuti et al. 2011)



Kuva 3 Erialaisten tuotekehitysmenetelmien analyysi ja vertailu (Lehtonen, Juuti et al. 2011)

Tuotteiden, jonka ominaisuudet ja vaatimukset ovat lähtötilanteessa yksityiskohtaisesti tiedossa, kehitykseen sopii lineaarinen tuotekehitysprosessi. Linearisessa tuotekehitysprosessissa vaiheet ovat ennalta määriteltynä ja prosessi etenee lineaarisesti lähtöpisteestä loppuun. Tuotteet, joiden rakenne tai ominaisuudet eivät ole tarkasti selvillä projektin lähtötilanteessa vaativat prosessin, jossa tuotetta testataan ja parannellaan tarvittaessa usean syklin verran ja projektin aiempiin vaiheisiin palataan tiedon lisääntyessä projektin aikana. Mitä enemmän määrittelemättömiä seikkoja tuotteeseen liittyy, sitä enemmän prosessin tulee sallia muutoksia projektin aikana. (Lehtonen, Juuti et al. 2011)

2.2.3 Ulrich & Eppingerin yleinen tuotekehitysmalli

Ulrich ja Eppingerin (2012) mukaan tyypillinen geneerinen tuotekehitysprosessi sisältää kuusi vaihetta. Projekti alkaa suunnitteluvaiheella. Suunnitteluvaiheen tuotoksena on tuotekehitysehdotus, jossa määritellään kohdemarkkinat, liiketoiminnalliset tavoitteet, tuotetta koskevat oletukset ja rajoitteet. Idea tuotekehitykseen tai uuteen innovaation voi löytyä useista eri lähteistä. Tarve uudelle tuotteelle voi tulla yrityksen sisältä tai asiakkailta. Uusia tuotekehitysideoita voidaan etsiä myös markkinatutkimuksella vallitsevista trendeistä tai kilpailijoiden tuotteista. Tuotekehitysidean löydyttyä on tärkeää

määritellä markkinasegmentti ja kohderyhmä tuotteelle, jotta tuote voidaan suunnitella vastaamaan asiakkaan tarpeita. Kun asiakastarpeet ovat selvillä, ne muunnetaan tuotteen ominaisuuksiksi ja ominaisuuksien vaatimukset listataan.

Toinen vaihe on konseptien kehittäminen. Konsepti on yksityiskohtainen kuvaus tuotteen toiminnallisista ja ulkoisista ominaisuuksista. Konseptilla haetaan ratkaisua alussa määritellyyn ongelmaan, jonka pohjalta tuotetta lähdetään kehittämään. Ratkaisuja voidaan etsiä ulkoisista lähteistä, kuten käyttäjiltä tai asiakkailta, asiantuntijoilta, patenteista, alan kirjallisuudesta ja vertailemalla kilpailijoiden tuotteita, sekä yrityksen sisältä hyödyntäen yrityksen jo olemassa olevia tuotteita tai osaamista. Jo olemassa olevien ratkaisujen etsiminen on viisasta, sillä olemassa olevan ratkaisun parantaminen tai muuntaminen kyseiseen sovellukseen sopivaksi on huomattavasti nopeampaa ja edullisempaa, kuin kokonaan uuden kehittäminen. (Ulrich, Eppinger 2012)

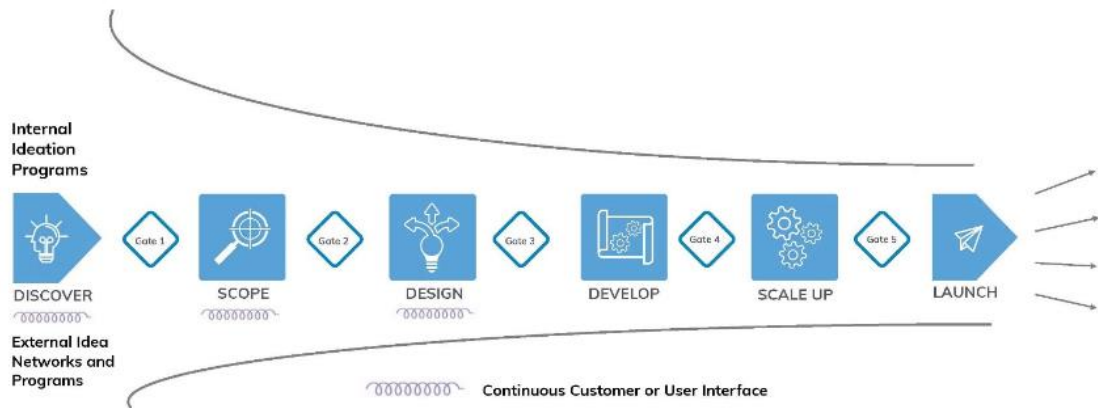
Parhaat konseptit valitaan jatkokehitykseen ja testaukseen. Valinnassa konsepteja arvioidaan määriteltujen vaatimusten suhteen sekä verrataan konseptien uhkia ja vahvuuksia. Tarkempiin testeihin valitaan yksi tai useampi potentiaalinen konsepti. Valittuja konsepteja testataan ja parannetaan tarvittaessa useamman iteraatiokierroksen ajan, kunnes saadaan valittua paras konsepti jatkokehitykseen. (Ulrich, Eppinger 2012)

Kolmas vaihe on systeemi tason suunnittelu, jossa määritellään tuotteen arkkitehtuuri, komponentit sekä osuus osasysteemeissä. Neljännessä vaiheessa suunnitellaan tuotteen tarkat yksityiskohdat ja määritellään tuotteen geometria, materiaalit sekä toleranssit. Tuotoksena tästä vaiheesta ovat tarkat piirustukset tuotteesta. Viidennessä vaiheessa tuotteesta voidaan valmistaa prototyyppi ja tuotetta testataan ja parannellaan, kunnes tuote vastaa sille asetettuja vaatimuksia. Kuudennessa vaiheessa tuote siirtyy tuotantoon, jossa sitä ensin testataan pienemmässä mittakaavassa ja asteittain laajennetaan täysimittaiseen tuotantoon, kun prosessi on saatu toimivaksi. (Ulrich, Eppinger 2012)

2.2.4 Stage-Gate-menetelmä

Robert Cooperin kehittämä Stage-Gate-menetelmä on prosessi, jossa jokaisessa vaiheessa kerätään tietoa, jonka avulla tehdään päätös projektin jatkamisesta. Jokaiselle vaiheelle on omat määritellyt tehtävänsä. Tehtävien tavoitteena on kerätä tietoa progressiivisesti, jotta tuotekehitysprosessin epävarmuus ja riskit saadaan minimoitua. Tehtäviä voidaan kuitenkin suorittaa rinnakkain, jotta prosessi etenee tehokkaasti.

Näiden tehtävien tuotokset toimivat syöteinä seuraavalla portilla. (Edgett 2018)
 Tyypillinen Stage-Gate-prosessi on esitelty kuvassa 4. ja se sisältää viisi vaihetta.



Kuva 4 Tyypillinen Stage-Gate-prosessi (Edgett 2018)

Varsinaista tuotekehitysprosessia edeltää tuotemahdollisuuksien etsiminen ja markkinoiden kartoittaminen. Idean löydyttyä prosessin ensimmäinen vaihe on nopea perehtyminen kehitettävään tuotteeseen. Toisessa vaiheessa tutustutaan tarkemmin tuotteen markkinoihin ja asiakkaisiin sekä teknisiin ominaisuuksiin. Tässä vaiheessa tuotteesta tehdään kehitysehdotus. Varsinainen suunnittelutyö alkaa kolmannessa vaiheessa, jossa määritellään vaatimukset tuotteelle ja tuotantoprosessille. Neljännessä vaiheessa tuoteideoita testataan ja viidennessä vaiheessa tuote on valmis lanseeraukseen ja tuotantoon. (Edgett 2018)

Jokaisella vaiheella on oma tarkoituksensa, mutta jokainen vaihe on rakenteeltaan samanlainen. Jokaisessa vaiheessa syntyy tuotoksia. Tuotoksia verrataan projektille määriteltuihin kriteereihin. Kriteerit auttavat havaitsemaan kehityskelpoiset tuotteet jo varhaisessa vaiheessa. Tyypillinen Stage-Gate-prosessi sisältää kuusi kriteeriä, jotka ovat: strateginen sopivuus, kilpailuetu, markkinoiden houkuttelevuus, tekninen toteutettavuus, resurssien sopivuus, taloudellinen voitto ja riskit. Jokaista vaihetta seuraa portti, jossa vaiheen tuloksia tarkastellaan. Portin tuotoksena on päätös projektin jatkamisesta. (Edgett 2018, Cooper 2011) Stage-Gate-prosessi etenee täysin lineaarisesti, mikä tarkoittaa sitä, että portilla tehdyn päätöksen jälkeen edellisiin vaiheisiin ei enää palata (Lehtonen, Juuti et al. 2011).

2.2.5 CPM/PDD-menetelmä

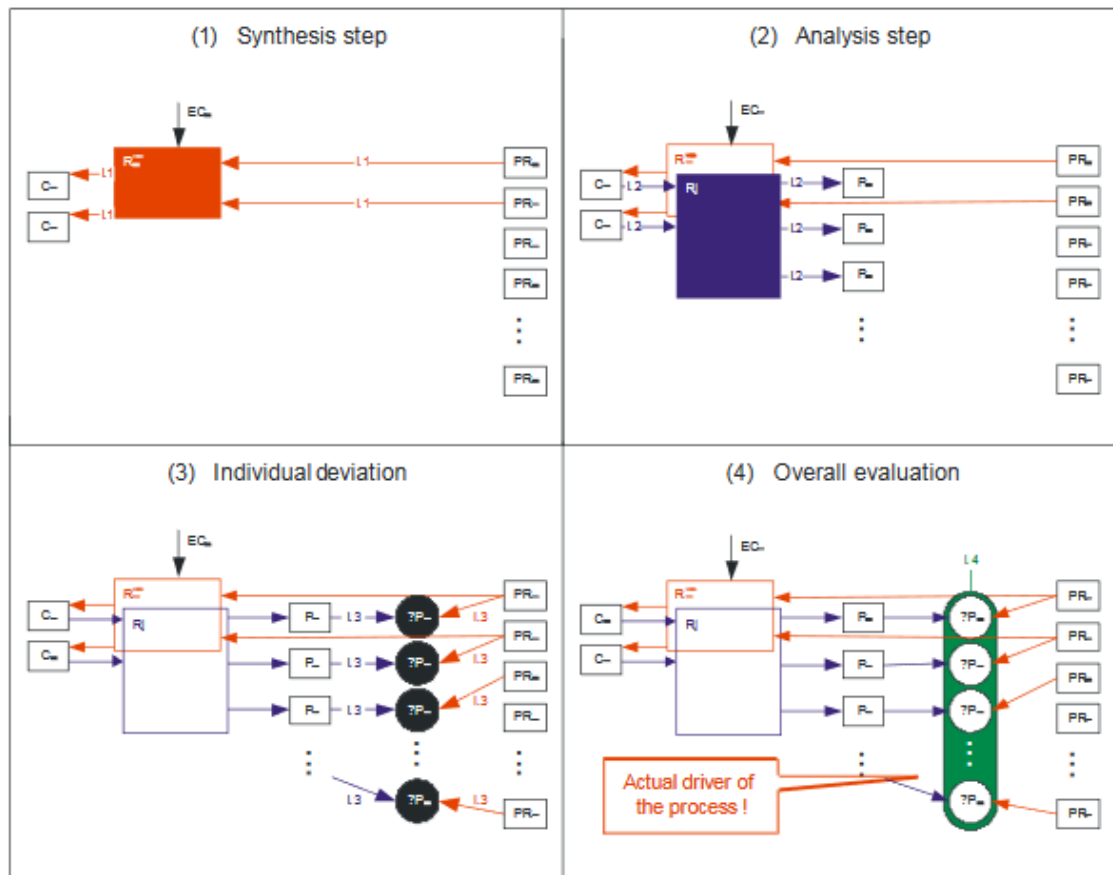
Christian Weberin kehittämä Characteristics-properties modelling (CPM) / Property-driven development (PDD) -menetelmä on kaksiosainen konsepti. CPM käsittää tuotteen mallinnuksen ja vaatimusten määrittelyn. PDD sisältää kehitysprosessin ja suunnittelun perustuen CPM malliin. CPM/PDD-menetelmä perustuu tuotteen ulkoisten tunnuspiirteiden (characteristics), kuten rakenne ja muoto, tuotteen käyttäytymiseen vaikuttavien sisäisten ominaisuuksien (properties), sekä niiden välisten syy-yhteyksien määrittelemiseen. Tunnuspiirteet ovat suoraan suunnittelijan määriteltävissä, kun taas ominaisuudet muodostuvat tunnuspiirteiden valinnan ja ulkopuolisten tekijöiden seurauksena. (Condrad, Köhler et al. 2008)

CPM mallinnuksessa määritellään tuotteen vaatimukset sekä riippuvuussuhteet tunnuspiirteiden ja ominaisuuksien välillä. Vaatimuslista tehdään projektin alussa olevilla tiedoilla ja vaatimukset voivat muuttua tiedon lisääntyessä projektin aikana. PDD-prosessissa tuotteen kehitys etenee sykleittäin. Kukin kierros sisältää neljä tehtävää: synteesi, analyysi, poikkeamien arviointi sekä yleinen arviointi. Ominaisuuksien ja tunnuspiirteiden välillä vallitsevien syy-yhteyksien sekä niihin vaikuttavien ulkoisten tekijöiden avulla tuotetta kehitetään kierros kierrokselta vastaamaan enemmän sille asetettuja vaatimuksia. (Condrad, Köhler et al. 2008)

Jokaisen iteraatiokierroksen päätoiminnot ovat synteesi ja analyysi. Synteesissä määritellään ja valitaan tuotteen tunnuspiirteet CPM mallinnuksessa määriteltyjen vaatimusten, ja myöhemmin prosessissa edellisen kierroksen arvioinnin, perusteella. Analyysissa määritellään tuotteen tämän hetkiset ominaisuudet valittujen tunnuspiirteiden pohjalta. Analyysi voi sisältää teoreettisen tiedon lisäksi kokeita ja prototyypin rakentamisen. Testit eivät kuitenkaan selitä miksi tuote toimii kuten toimii, joten riippuvuussuhteet on määriteltävä erilaisten mallien ja metodien avulla. Lisäksi on huomattava, että tuotteen ominaisuuksiin vaikuttavat tunnuspiirteiden lisäksi myös muut seikat, kuten ympäristö. (Condrad, Köhler et al. 2008)

Päätoimintojen lisäksi kullakin iterointikierroksella suoritetaan arviointia. Arvioinnin tarkoituksena on verrata tuotteen tämän hetkisiä ominaisuuksia tuotteen vaatimuksiin. Arviointi tehdään erikseen jokaisen ominaisuuden osalta. Kierroksen lopuksi suoritetaan yleinen arviointi. Yleisessä arvioinnissa kirjataan ominaisuuksien arvioinnin tulokset, ja tarkastellaan sitä, kuinka kaukana vaatimuksien täyttämisestä ollaan. Tämä arviointi toimii ajavana voimana prosessille sekä syötteenä seuraavalle iteraatiokierrokselle.

(Condrad, Köhler et al. 2008) Kuvassa 5 on esitetty neljä kullakin iteraatiokierroksella suoritettavaa toimenpidettä.



Kuva 5 PDD-prosessin neljä toimenpidettä (Condrad, Köhler et al. 2008)

Kuvassa 5 merkintä C_x tarkoittaa tuotteen tunnuspiirrettä, P_x tuotteen ominaisuutta ja R_x kuvaa näiden välistä yhteyttä. EC_x havainnollistaa syy-seuraussuhteeseen vaikuttavia ulkoisia tekijöitä. (Weber, Deubel 2003, Condrad, Köhler et al. 2008)

On mahdollista, että prosessin edetessä ilmenee uusia ominaisuuksia, joita ei ole huomioitu CPM mallinnuksessa. Tällöin suunnittelijan tulee tehdä päätös siitä, onko ominaisuus relevantti tuotteen toiminnan kannalta. Tarvittaessa ominaisuus lisätään vaatimuslistaan. Iteraatiokierroksia jatketaan, kunnes ominaisuudet vastaavat tarpeeksi hyvin niille asetettuja vaatimuksia. Prosessin lopuksi on varmistuttava, että kaikki valmistukseen tai kokoonpanoon vaikuttavat tunnuspiirteet on huomioitu ja ominaisuudet yltyvät vaaditulle tasolle. (Condrad, Köhler et al. 2008)

3. TUTKIMUSSUUNNITELMA

3.1 Projektin tavoitteet ja rajaus

Tämän työn päätarkoituksena on selvittää mitä vaatimuksia märkäsaumausteipin toimintaan liittyy, ja millaisilla materiaalivalinnoilla teipiltä vaaditut ominaisuudet voidaan saavuttaa. Märkäsaumausteippi kehitetään Lemtapes Oy:lle. Teipin on toimittava jo olemassa olevassa prosessissa, sillä toinen yritys valmistaa märkäsaumauskoneet, joissa kyseistä teippiä käytetään. Tulevaisuudessa teippiä on tarkoitus myydä vaneritehtaille, joilla on käytössään märkäsaumauskone. Tavoitteeseen pääsemiseksi on tarpeen määritellä mahdollisimman tarkasti teipin vaatimukset sekä teipin ominaisuuksien keskinäiset riippuvuussuhteet, jotta teipin toiminta voidaan optimoida systemaattisesti.

Tuotekehitysprojektin lähtökohtana on tuotteen vaatimusten määrittely. Vaatimuksina märkäsaumausteipille ovat kosteudenkesto, kuumakovettuvuus, nopea kovettumisaika sekä mekaaninen lujuus. Teippi kiinnitetään märkään viiluun kuumapuristamalla. Saumauksen jälkeen viiluja ei välttämättä kuivata heti, vaan viilut varastoidaan kosteana. Saumakohta kuivuu kuumalla raudalla saumatessa, mutta varastoitaessa kosteus kulkeutuu muualta viilusta saumakohtaan ja teippi kostuu. Sauman tulee kestää useamman päivän varastointiaika. Märkäsaumauksessa käytettävän liiman tulee olla kuumakovettuvaa, jotta sauma kestää viilun kuivauksen 175-200 C°:ssa. (Akkanen, Jännes et al. 2017) Sauman tulee muodostua mahdollisimman nopeasti, jotta prosessinopeus säilyy korkeana.

Työssä pyritään hankkimaan mahdollisimman paljon numeerista tietoa teipin vaatimuksista, jotta ominaisuuksien ja vaatimusten välistä eroa voitaisiin mitata. Kilpailijan tuotteen tiedetään toimivan hyvin saumausprosessissa, joten sitä voidaan käyttää vertailukohtana uutta tuotetta kehitettäessä. Vaatimukset määritellään niin, että kehitettävä tuote on ominaisuuksiltaan vähintään yhtä hyvä, kuin kilpailijan tuote.

Uusiutuvien luonnonmateriaalien käyttö petrokemiallisten yhdisteiden sijasta yleistyy puuteollisuudessa jatkuvasti ja uusia luonnonmukaisempia liima-aineita kehitetään ja tutkitaan paljon. Lisäksi puuteollisuudessa perinteisesti käytössä olevien hartsien ongelmana on niistä haihtuva karsinogeeninen formaldehydi (Gadhave, Mahanwar et al. 2018). Yksi tämän työn tutkimusaiheista onkin selvittää, voitaisiinko kilpailuetua

saavuttaa käyttämällä tuotteessa luonnonmukaisia adhesiiveja, jotka eivät sisällä ihmiselle tai luonnolle haitallisia yhdisteitä.

Työn teoriaosuudessa esitellään erilaisia liima-aineyhdistelmiä ja aiempia tutkimuksia puun liimauksesta sekä erilaisten lisäaineiden ja katalyyttien käytöstä liimoissa. Empiiriseen tutkimukseen liimojen valinta on tehty kirjallisuustutkimuksen perusteella yhteistyöyritysten asiantuntijoiden kanssa. Työn empiirisessä osassa tarkkoja liima-aineiden koostumuksia ei kerrota tuotesuojasyistä. Testausjärjestelyt pyritään valitsemaan niin, että niillä pystytään mallintamaan mahdollisimman hyvin teipin lopullista käyttökontekstia ja prosessin asettamia vaatimuksia. Aikataulun vuoksi tästä työstä rajataan pois tuotteen testaaminen tuotannossa.

3.2 Ongelmanasettelu ja tutkimuskysymykset

Ongelmanasettelussa määritellään tutkimuksen taustalla oleva ongelma, joka toimii motivaationa tutkimukselle. Ongelmanasettelussa ongelma voidaan jakaa osaongelmiksi, joista saadaan muodostettua tarkat tutkimuskysymykset. Ongelmanasettelussa on tärkeää määritellä, millaista tietoa halutaan tuottaa. (Koppa 2015)

Ongelma, johon tässä työssä haetaan ratkaisua, on materiaalien löytäminen, joiden avulla paperipohjainen teippi saadaan pysymään kiinni kosteassa viilussa. Ongelma voidaan jakaa kahteen osaan. Ensimmäinen on yksittäistapauksen kokonaisvaltainen ymmärtäminen, eli tässä tapauksessa viilun märkäsaumausprosessi ja sen tuomat vaatimukset märkäsaumausteipille. Toinen on teipin toimintaan vaikuttavien ilmiöiden ja niiden syy-yhteyksien kuvaaminen.

Tämän tutkimuksen on tavoitteena löytää ratkaisu, joka vastaa tuotteelle asetettuja vaatimuksia yksittäisessä toimintaympäristössä. Tuotteen toimintaan vaikuttaa valittujen ulkoisten ominaisuuksien lisäksi materiaalien kemiallinen toimintakyky, ja näin ollen on oleellista selvittää taustalla vaikuttavat ilmiöt ja niiden syy-yhteydet, jotta voidaan ymmärtää, miten tuote toimii. Tämän pohjalta työlle on määriteltä seuraavat tutkimuskysymykset:

1. Mitä ominaisuuksia teipiltä vaaditaan?
2. Mitkä ovat ominaisuuksien väliset vuorovaikutukset?
3. Millä materiaalivalinnoilla saavutetaan halutut ominaisuudet?

Löytämällä vastaus kahteen ensimmäiseen tutkimuskysymykseen saadaan hyvä pohja varsinaiselle tuotekehitysprosessille. Varsinaisessa tuotekehitysprosessissa haetaan empiirisen tutkimuksen keinoin vastausta kolmanteen tutkimuskysymykseen.

3.3 Tutkimusstrategia

Tämä työ on empiirinen tutkimus, jossa tutkimuskysymyksiin haetaan vastauksia testaamalla ja analysoimalla tutkimuskohdetta. Työhön kuuluu teoreettinen kirjallisuusosuus, jossa perehdytään teipin toiminnallisuuteen vaikuttavaan ilmiöön, adheesioon, ja sekä liiman, että puun ominaisuuksiin adhesiivisovelluksissa. Lisäksi esitellään joukko vanerin valmistuksessa käytettyjä ja puun liimaukseen soveltuvia liima-aineita. Aineisto tähän työhön hankitaan tutkimalla jo olemassa olevia julkaisuja ja tutkimustuloksia liittyen vanerinvalmistukseen ja puun liimaukseen sekä keskustelemalla yhteistyöyritysten asiantuntijoiden kanssa.

Vaikka työn teoriaosuudessa on esitelty laajemmin erilaisia materiaaleja, työn empiirinen osa kuitenkin rajataan sidosryhmiltä saatavissa oleviin materiaaleihin. Teoria-osassa kerätyn tiedon pohjalta muodostetaan tuotteen ominaisuuksien syy-yhteyskaavio, jota käytetään pohjana empiirisessä tutkimuksessa. Toisaalta empiirisessä tutkimuksessa materiaaleja testaamalla myös kerätään tietoa, jonka perusteella saadaan vahvistettua näiden syy-yhteyksien paikkansapitävyys.

Tämä työ on tapaustutkimus. Tapaustutkimuksessa tarkoituksena on tutkia yksittäistä tapausta tai rajattua kokonaisuutta määritellyssä kontekstissa. Tapaustutkimuksessa kerätään tietoa tietyistä ilmiöistä kontekstissaan sen sijaan, että pyrittäisiin tuottamaan yleistettävää tietoa. (Saaranen-Kauppinen, Puusniekka 2006) Tässä tapauksessa teipin toimintaa tutkitaan ainoastaan olemassa olevassa märkäsaumausprosessissa.

Tuotekehitys etenee osiossa 2.2.5 esitellyn Christian Weberin CPM/PDD-menetelmän mukaisesti. CPM/PDD-menetelmä valittiin tähän työhön, sillä menetelmä keskittyy tuotekehitysprosessin sijasta tuotteen ja sen ominaisuuksien syvälliseen ymmärtämiseen. Menetelmän avulla tuotteen ominaisuudet ja niiden vaatimukset määritellään mahdollisimman tarkasti heti prosessin alussa ja ominaisuuksia kehitetään systemaattisesti sykleittäin. Tällä mahdollistetaan tehokas tuotekehitysprosessi, kun jokainen kehitysvaihe tehdään systemaattisesti ja harkiten aiemmin prosessissa kerätyn tiedon valossa.

4. TEORIA

4.1 Adheesio

Adheesio tarkoittaa kahden materiaalin rajapinnalla vaikuttavia voimia, jotka pitävät kappaleet kiinni toisissaan. Adheesiolujuudella taas tarkoitetaan voimaa, joka tarvitaan näiden kappaleiden irrottamiseksi toisistaan. (Brewis, Briggs 1985) Adheesiosidoksen todellinen lujuus riippuu pääosin liimattavan kappaleen ja liima-aineen, eli adhesiivin, mekaanisista ominaisuuksista. Liimasidoksia suunniteltaessa tulee ottaa huomioon adheesio muodostumiseen vaikuttavat kemialliset ja fyysiset tekijät.

Näitä tekijöitä pyritään mallintamaan adheesioteorioilla. Adheesiot teoriat eivät anna yksiselitteistä vastausta sidoksen muodostumiseen tai lujuuteen, mutta niillä pyritään selittämään ilmiöitä adheesio taustalla. Erilaisia adheesiot teorioita ovat: sähköstaattinen teoria, diffuusioteoria, mekaaninen lukkiutuminen ja adheesio, kastuminen ja adheesio, kovalenttiset sidokset sekä heikot sidokset. (Pocius 2002)

Sähköstaattinen teoria perustuu sähköstaattisiin voimiin materiaalien välillä. Siinä positiivisesti varautunut materiaali luovuttaa varauksen negatiivisesti varautuneelle materiaalille, jolloin materiaalien välille muodostuu sähköstaattinen rajapinta, joka pitää materiaalit yhdessä. Diffuusioteorian mukaan, kun kaksi toistensa suhteen liukoista materiaalia tuodaan yhteen, muodostuu rajapinnalle alue, joka on sekoitus kumpaakin materiaalia. Tästä syntyvä sidos on luja, mutta todellisuudessa toisiinsa liukenevat materiaaliparit ovat varsin harvassa. (Pocius 2002)

Mekaaninen lukkiutuminen perustuu pinnan muotoihin, eli morfologiaan. Liima-aine kulkeutuu pinnan huokosiin ja kovettuessaan jää mekaanisesti kiinni pinnan muotoihin. Karhea pinta lisää sidoksen pinta-alaa ja parantaa sidoksen lujuutta. Kastumisen teorian mukaan liima-aineen pintaenergian tulee olla pienempi kuin liimattavan pinnan kriittinen pintajännitys. Tällöin liima levittyy spontaanista pinnalle ja sidoksen pinta-ala on mahdollisimman suuri. Liiman viskositeetti ja kovettumisaika vaikuttavat siihen, kuinka syvälle pinnan huokosiin liima-aine ehtii kulkeutua ennen sen kovettumista. (Pocius 2002)

Atomien tai molekyylien muodostaessa kovalenttisiä sidoksia, eli niiden jakaessa elektroniparin, syntyy sidokseen suuri potentiaalienergia. Kovalenttiset sidokset

parantavat adheesion lujuutta ja niillä voidaan parantaa adheesion kosteudenkestoa, sillä kovalenttiset sidokset hidastavat liima-aineen liukenemista veteen. Adheesiosidoksen heikentymistä voivat aiheuttaa ns. heikot sidoskerrokset rajapinnalla, jotka voivat olla lähtöisin liima-aineesta tai liimattavasta materiaalista. Heikko sidoskerros voi johtua esimerkiksi epäpuhtauksista. (Brewis, Briggs 1985, Pocius 2002)

Adhesiivin, eli liiman, tarkoituksena on lisätä kahden materiaalien välisen rajapinnan pinta-alaa ja kiinnittää materiaalit toisiinsa (Brewis, Briggs 1985). Adheesioteorioiden pohjalta saadaan liimalle valintakriteerit, jotka auttavat liima-aineen valinnassa (Pocius 2002). Nämä kriteerit on esitetty taulukossa 1. Taulukosta nähdään myös mihin adheesioteoriaan kukin kriteeri pohjautuu.

Taulukko 1 Liiman valinnassa huomioitavia seikkoja. Perustuu lähteeseen (Pocius 2002)

| Valintakriteeri | Adheesioteoria |
|---|--|
| Valitse liima, joka liukenee liimattavaan kappaleeseen | Diffuusioteoria (diffusion theory) |
| Huomio pinnan morfologia | Mekaaninen lukkiutuminen (mechanical interlocking) |
| Poista kaikki heikot sidoskerrokset | Heikot sidoskerrokset (weak boundary layer theory) |
| Valitse liima, joka spontaanisti kastelee pinnan | Kastuminen (wettability theory) |
| Valitse liima, jolla on sopiva viskositeetti, jotta kaikki pinnan huokokset kastuvat hyvin. | Kastuminen ja mekaaninen lukkiutuminen (wettability and mechanical interlocking) |
| Suosi kovalenttisia sidoksia adheesiolle epäsuotuisassa ympäristössä | Kovalenttiset sidokset (covalent bonding) |

Diffuusiolla saavutetaan luja sidos, mutta koska harvat materiaalit todellisuudessa liukenevat toisiinsa on kiinnitettävä huomiota sen sijaan liima-aineen kykyyn kastella liimattavan kappaleen pinta. Jotta liima leviää hyvin pinnalle, on liimattavan kappaleen pinta-energian oltava suurempi kuin liima-aineen pintajännitys. Toinen kriteeri koskee

liima-aineen viskositeettia. Viskositeetin tulee olla tarpeeksi matala, jotta liima-aine leviää hyvin liimattavan kappaleen pinnalle. Matala viskositeetti myös mahdollistaa liima-aineen kulkeutumisen pinnan huokosiin, jolloin liiman kovettuaessa sidos muodostuu myös mekaanisesti lukkiutumalla. Mekaanisen sidoksen muodostumiseen vaikuttaa liiman viskositeetin lisäksi myös kappaleen pinnan morfologia. (Pocius 2002)

Ympäristön ollessa epäsuotuisa adheesiolle kannattaa pyrkiä valitsemaan liima-aine niin, että se muodostaa liimattavan kappaleen kanssa lujia kovalenttisia sidoksia. Näin voidaan parantaa sidoslujuutta. Lisäksi liima-ainetta valitessa tulee huomioida mahdollisesti syntyvät heikot sidoskerrokset, jotka heikentävän sidoslujuutta. (Pocius 2002)

Edellä mainittujen seikkojen lisäksi adheesio- ja adheesiolujuuteen vaikuttavat myös ympäristön olosuhteet. Tärkeimmät tekijät ovat paine, lämpötila sekä liima-aineen ja liimattavan kappaleen paksuudet. Korkeampi paine edesauttaa liima-aineen kulkeutumista pinnan huokosiin. Mitä pidempään liima-aineen viskositeetti pysyy alhaisena, sitä paremmin rajapinta ehtii kastua. Käytännön sovelluksissa adheesio pyritään kuitenkin muodostamaan mahdollisimman nopeasti. (Brewis, Briggs 1985)

4.2 Puun liimaus

Adhesiivin ominaisuuksien lisäksi liimasidoksen laatuun vaikuttaa puun ominaisuudet ja puun pinnan laatu sekä liimaolosuhteet ja -prosessi. Packhamin (2005) mukaan adhesiivin levitysprosessin merkitys on jopa 50 % adheesio- ja adheesiolujuuteen. Liimasauman onnistuminen vaatii liiman tunkeutumista puuhun sekä kiinnittymistä puun pinnalle. (Akkanen, Jännes et al. 2017) Puun koostumus vaihtelee puun eri osissa. Tämä aiheuttaa sen, että adheesio- ja adheesiolujuudet myös vaihtelevat puun eri osien välillä. (Dunky, Pizzi 2002)

Myös puun kosteusprosentilla on vaikutusta muodostuvan adheesio- ja adheesiolujuuteen. 60-65 % puuaineksesta koostuu selluloosakuiduista, jotka turpoavat kastuessaan ja kutistuvat kuivaessaan. Kuivan puun tiheys vaihtelee paljon puulajeittain ja yksittäisten puiden välillä. Puun tiheys vaikuttaa sen kykyyn absorboida vettä ja adhesiivin liuottimia sekä liiman imeytymiseen puuhun. Liiman imeytymiskyky puuhun riippuu puun pinnan rakenteesta, puulajista, liiman määrästä, liimauslämpötilasta sekä liiman viskositeetista. Suurempi moolimassainen liima imeytyy huonommin puuhun, mutta toisaalta liian pieni viskositeettinen liima kastelee liimattavaa pintaa liikaa. (Dunky, Pizzi 2002)

Vanerin valmistuksessa tukit kastellaan, sillä märkä puu sorvautuu paremmin. Sorvattu viilu taas kuivataan, jotta puun kosteusprosentti saadaan vanerin liimauksen kannalta sopivaksi. Liian kostea puuaines vaikeuttaa liimausta ja kuumapuristuksessa haihtuva höyry saattaa vahingoittaa viilun rakennetta. Vanerin valmistuksessa käytetyn kuivatun viilun kosteusprosentti on koivuviilulla 4-6 % ja havuviilulla 6-8 %, Kutistuessaan puuaines käyttäytyy anisotrooppisesti, eli kutistuminen ja laajeneminen on erilaista puun syiden sekä vuosirenkaiden tangentin ja säteen suunnassa. Täysin märästä absoluuttisen kuivaksi kuivattu puu kutistuu vuosirenkaiden tangentin suunnassa noin 8 % ja säteen suunnassa noin 4 %. Puun syiden suunnassa sen sijaan puu kutistuu vain 0,2 – 0,4 %. Viilua kuivatessa on huomioon otettava, että liian nopeasti haihtuva vesi voi aiheuttaa viiluun sisäisiä jännityksiä. (Akkanen, Jännes et al. 2017)

Dai et al. (2009) tutkivat, kuinka viilun kutistuminen kuivatessa vaikuttaa viilujen saumaan. Testeissä käytettiin havupuuviilua. Viilujen kosteudet saumatessa olivat 20 ja 60 %. ja saumatut testikappaleet kuivattiin 0 – 2 % kosteuteen. Tämän tutkimuksen mukaan viilun kuivuminen ei vaikuttanut puun ja teipin väliseen adheesiolujuuteen, mutta kutistuminen aiheutti viilujen väliin aukon, joka aiheuttaa jännityksiä saumaan. Kutistumisprosentti puun syiden vastaisessa suunnassa oli 60 % kosteudesta noin 7 % ja 20 % kosteudesta noin 5 %. Kutistuminen aiheutti viilujen väliin hieman alle 2 mm raon, kun käytössä oli teippisaumaus. Tuloksissa on hyvä huomioida viilun reunan epätasaisuus, joten raon tarkka mittaaminen on hankalaa.

4.3 Liiman koostumus

Liima on polymeerisekoitus tai polymerisoitavissa oleva materiaali, joka saa kaksi pintaa kiinnittymään toisiinsa. Materiaalit voivat olla peräisin luonnollisista tai synteettisistä lähteistä. Liiman valinnassa on tärkeää ymmärtää kunkin komponentin funktionaaliset ominaisuudet ja niiden vaikutus esimerkiksi kovettumismekanismeihin. Liima koostuu hartseista, liuottimista, täyteaineista, pehmentimistä, lujitteista, antioksidanteista, emulsioaineista sekä erilaisista lisäaineista, joilla voidaan säädellä adheesiivin paksuutta tai kalvon muodostumista. (Kim, Lim et al. 2018)

Hartsit ovat liiman tärkein ainesosa. Hartsin ominaisuudet määrittävät liiman kastuvuutta, adheesiolujuutta, lämpöominaisuuksia, kemiallista kestävyyttä sekä ympäristön kestoä. Liimateollisuudessa hartseilla tarkoitetaan polymeeriä, joka muodostaa liiman molekyyliarakenteessa pääketjun. Käytettävät hartsit voidaan jakaa kemiallisten

ominaisuuksiensa perusteella kuumakovettuviin kertamuoveihin, termoplastisiin kestomuoveihin sekä elastomeerisiin hartseihin. Kuumakovettuvat hartsit muodostavat kovettuessaan liukenemattoman ristosilloittuneen rakenteen ja muodostavat sen ansioista usein termoplastisia hartseja lujemman sidoksen. Termoplastinen hartsi muodostaa lineaarisen tai haaroittuneen rakenteen, joka sulaa kuumennettaessa ja eikä kestä liuottimia. (Kim, Lim et al. 2018)

Fysikaalisten ominaisuuksien perusteella liimat voidaan jaotella kovettumisreaktionsa mukaisesti kemiallisesti kovettuviin ja fysikaalisesti kovettuviin. Kemiallisesti kovettuvissa liimoissa kemiallinen reaktio saa aikaan molekyylien yhteen sitoutumisen sekä ketjuuntumisen. Kovettumisreaktio aikaan saadaan tai sitä voidaan nopeuttaa lämmön ja / tai paineen avulla. Kemiallisesti kovettuvia liimoja ovat esimerkiksi formaldehydihartsit. Fysikaalisesti kovettuvat liimat kovettuvat liuottimen poistuessa liimasaumasta. Kovettuessa liima muodostaa kalvon, joka sitoo liimattavat pinnat yhteen. Fysikaalisesti kovettuvia liimoja ovat esimerkiksi erilaiset polymeeridispersiot, kuten polyvinyyliasetaatti. (Akkanen, Jännes et al. 2017)

Liuottimet ovat haihtuvia yhdisteitä, joilla voidaan alentaa adhesiivin viskositeettia. Matalampi viskositeetti tekee liiman levittämisestä helpompaa ja muut lisäaineet sekoittuvat tasaisesti liuokseen. Liuottimien valinnassa tulee ottaa huomioon hartsin ja liuottimen liukoisuus toisiinsa. Tätä ilmiötä kuvataan liukoisuusparametrillä. Liukoisuusparametrien arvojen ollessa lähellä toisiaan materiaalit liukenevat toisiinsa hyvin. (Kim, Lim et al. 2018) Useiden liuottimien ongelmana on haitallisuus niiden haihtuessa hengitysilmaan. Luonnonmukaisissa adhesiiveissa käytetään usein liuottimena vettä, sen sijaan vain harvat synteettiset polymeerit ovat vesiliukoisia. Vesipohjaisten adhesiivien heikkoutena on pitkä kuivumisaika. (Brewis, Briggs 1985)

Täyteaineena käytetään materiaaleja, joilla ei ole adhesiivisia ominaisuuksia. Lisäaineita käytetään parantamaan adhesiivin mekaanista lujuutta, lämpöominaisuuksia, adheesion muodostumista tai alentamaan adhesiivin hintaa. Täyteaineiden vaikutus adhesiivin ominaisuuksiin riippuu täyteaineen tyypistä, partikkelikoosta ja muodosta sekä sen määrästä adhesiivissa. Pehmentimiä käytetään parantamaan polymeerien työstettävyyttä ja muokkautuvuutta. Pehmentimillä voidaan alentaa liiman lujuutta, kovuutta, kimmomoduulia sekä lasimuutoslämpötilaa, jolloin liiman prosessoitavuus paranee. Lujitteita käytetään parantamaan liiman mekaanisia ominaisuuksia. Lujitteet käyttäytyvät adhesiivissa hartsin tavoin ja parantaen adhesiivin sisäistä sidoslujutta muodostamalla polymeeriin ristosilloittuneen rakenteen. (Kim, Lim et al. 2018)

Useissa liimoissa käytetään myös erilaisia kovetteita parantamaan liiman kovettumista. Kovetteet reagoivat kemiallisesti hartsin kanssa osallistuen polymerisaatioon. Kovete tulee valita sopivaksi kulloinkin käytetyn hartsilaadun kanssa. Kovetteena käytetään jauhemaisia aineita, jotka voivat sisältää kovettavien ainesosien lisäksi erilaisia täyteaineita. Katalyytteja käytetään nopeuttamaan liiman kovettumista. Yleisesti käytettyjä katalyytteja ovat hapot, emäkset, suolat, rikkiyhdisteet ja peroksidit. Katalyyttien määrä liima-aineseoksessa on erittäin pieni. (Kim, Lim et al. 2018, Akkanen, Jännes et al. 2017)

4.4 Liima-aineet

Puun liimauksessa käytetään polymeerimateriaaleja, jotka kykenevät puun kanssa sekä mekaaniseen, että kemialliseen vuorovaikutukseen. Kuumakovettuvat liimat muodostavat kovettuessaan liukenemattoman ristosilloittuneen rakenteen, eivätkä pehmene lämmitettäessä. Termoplastiset liimat kestävät huonosti liuottimia ja lämpöä. (Salvini, Saija et al. 2009) Tässä työssä esitellään perinteiset vanerin valmistuksessa käytössä olevat formaldehydihartsit, yleisesti puun liimauksessa paljon käytetty polyvinyyliasetaatti dispersio sekä luonnonmateriaaleista ligniini ja tärkkelys, joiden käytöstä puun liimauksessa löytyy useita tutkimuksia.

4.4.1 Formaldehydihartsit

Formaldehydihartsit ovat laajimmin käytettyjä liima-aineita puuteollisuudessa. Vaneriteollisuudessa formaldehydiä käytetään raakaöljypohjaisten hartsien polymerisointiin. Formaldehydi on reaktiivinen kaasu, jota käytetään liimoissa katalyyttinä. Formaldehydikaasu on väritöntä ja pistävän hajuista. Suurempina pitoisuuksina se aiheuttaa ihon, silmien ja hengitysteiden ärsytystä. Formaldehydi luokitellaan EU-säädösten mukaisesti karsinogeeniseksi yhdisteeksi. Suomessa vanerin liimauksessa yleisimmin käytetty hartsi on fenoli-formaldehydihartsi (FF), mutta käytössä on myös melamiini-formaldehydi- (MF) sekä urea-formaldehydihartseja (UF). (Dunky, Pizzi 2002, Akkanen, Jännes et al. 2017, Xi, Pizzi et al. 2017)

Formaldehydihartsien valmistuksessa formaldehydi ja hartsi polymerisoidaan ensin esipolymeeriksi. Esipolymeerissä formaldehydi polymerisoi osan hartsimonomeereistä ja muodostuneet pieni molekyylimassaiset polymeeriketjut kiinnittyvät toisiinsa hydroksyyli-metyyli-ryhmillä, joiden kemiallinen kaava on CH_2OH . Esipolymeerivaiheessa

yhdistettä voidaan modifioida erilaisilla lisäaineilla ja kovetteilla. Kun formaldehydihartsit kovettuvat, molekyylit muodostavat kuumakovettuvan ristosilloittuneen rakenteen. Formaldehydihartsit kovetetaan usein lämmön ja paineen avulla. (Akkanen, Jännes et al. 2017)

Hartsien ominaisuuksia voidaan parantaa erilaisilla liimamateriaaliyhdistelmillä sekä käyttämällä erilaisia lisäaineita. Esimerkiksi korkean hinnan vuoksi MF-hartsia käytetään yhdessä edullisempien hartsien kanssa. FF-hartsia voidaan käyttää yhdessä MF-hartsin kanssa sen kosteudenkeston parantamiseksi. Kovetteet ja katalyytit nopeuttavat hartsin kovettumista, mutta voivat heikentää kovettuneen hartsin mekaanisia ominaisuuksia tekemällä siitä hauraan. FF-hartsin kovettajina käytetään esimerkiksi natrium- ja kaliumkarbonaatteja. (Akkanen, Jännes et al. 2017)

Erilaisten lisäaineiden vaikutusta formaldehydihartsien kosteudenkestoon on tutkittu paljon. UF-hartsien kosteudenkestoa on parannettu mm. isosyanaatin (Mansouri, Hamid Reza, Pizzi et al. 2005), ja butaanieldehydin (Wang, S., Pizzi 1997) avulla. Mansouri et al. (2005) tutkimuksessa UF-hartsin märkäljuus parani, kun hartsiin lisättiin 10 – 15 % isosyanaattia. Wang ja Pizzi (1997) tutkivat urea-formaldehydihartsin kosteudenkestoa, kun liimaan lisättiin butaanieldehydiä. Parhain kosteudenkesto saavutettiin, kun urea / formaldehydi / butaanieldehydi-suhde oli 1 / 1,3 / 0,2. Fan et al. taas käyttivät tutkimuksessaan (2011) fenoli-urea-formaldehydihartsin katalyyttinä kalsiumoksidia (CaO), natriumkarbonaattia (Na₂CO₃), Sinkkioksidia (ZnO) ja Magnesiumoksidia (MgO). Näistä kalsiumoksidia lukuun ottamatta kaikilla saavutettiin suurempi kovettumisnopeus sekä parempi kosteudenkesto verrattuna pelkkään formaldehydihartsiin. Maminski et al. tutkivat (2008) glutaarialdehydiä urea-formaldehydihartsin kovettajana vanerin liimauksessa ja sidoksen märkäljuus parani 53 %, kun glutaarialdehydiä lisättiin hartsiin 10 %.

Dai et al. (2009) testasivat neljää erilaista kuumakovettuvaa hartsia märkäsaumauksessa, 1-komponenttista polyuretaaniliimaa (PU-PL), 2-komponenttista polyuretaani polymeeriliimaa (PU-ISO), fenoli-resorsinoli-formaldehydiliimaa (FRF) ja fenoli-formaldehydiliima (FF). Testikappaleina käytettiin 150 x 65 mm kokoisia viilukappaleita, jotka saumattiin 20 x 40 mm kokoisella teipillä yhdeltä puolelta. Teippi valmistettiin pinnoittamalla liimalla voimapaperi, jonka neliömassa oli 70 g/m². Testikappaleiden kosteusprosentteiksi valittiin 20, 30 ja 45 %. Testikappaleet saumattiin 120, 150 ja 200 C°. Kuvassa 6. esitetään saumattu testikappale.



Kuva 6 Saumattu testikappale (Dai, He et al. 2009)

Kaikilla liimoilla saavutettiin hyvät sidoslujuudet kuivimmilla testikappaleilla. Korkeilla kosteusprosentteilla testissä parhaaksi materiaaliksi osoittautui PU-ISO. Sillä mitattiin suurimmat sidoslujuudet kosteammilla testikappaleilla. PU-ISO-liima myös kovettui nopeammin kuin muut materiaalit. Sidoslujuus nousi huomattavasti saumattaessa korkeammilla lämpötiloilla. PU-PL kesti hyvin kosteutta, mutta sen kovettumisnopeus ja sidoslujuus olivat heikommät, kuin PU-ISO:lla. FRF ja FF taas kestivät huonosti kosteutta ja niiden sidoslujuudet laskivat huomattavasti, kun viulun kosteusprosentti nousi 45 %:n. (Dai, He et al. 2009)

Formaldehydin lisäksi hartseissa käytetään kovettajana isosyanaattia. Esimerkiksi edellä mainitussa testissä käytetyt polyuretaaniliimat sisältävät usein isosyanaattia. Isosyanaattihartsit ovat hyvin reaktiivisia lämpimissä olosuhteissa. Isosyanaatti tarvitsee vettä toimiakseen adhesiivina, joten se sopii hyvin kostean puun liimaamiseen. Teoreettisesti on mahdollista, että isosyanaatin hydroksyyliiryhmät muodostavat puun kanssa kovalenttisia sidoksia, jolloin muodostuu vahva adheesio materiaalien välille. (Mansouri, Hamid Reza, Pizzi et al. 2005)

Uusissa tutkimuksissa formaldehydihartseja on pyritty modifioimaan niin, että formaldehydi saataisiin korvattua osittain tai kokonaan. Formaldehydin etuna on sen reaktiivisuus, jolloin se reagoi jo suhteellisen matalissa lämpötiloissa pienellä aktivaatioenergialla. Aminoplastisissa hartseissa, MF ja UF, formaldehydipäästöt ovat FF-hartseja pienempiä. Eräs vaihtoehto formaldehydin korvaajaksi hartseissa on glyksaali.

Glyksaali on myrkytön ja haihtumaton yhdiste. Luonnonmukaisissa puuadhesiiveissa, kuten ligniini-, tanniini- ja proteiinipohjaiset liimat, glyksaalia käytetään ristosilloittajana ja kovettajana korvaamaan formaldehydiä. Deng et al. (2018) sekä Xi et al. (2017) tutkivat glyksaalin käyttämistä melamiinihartsissa. Tutkimuksessa melamiini-

glyoksaalihartsia (MG) käytettiin vanerin liimauksessa. Formaldehydi on glyoksaalia reaktiivisempaa, joten MG tarvitsee MF-hartsin verrattuna suuremman aktivaatioenergian ristosilloittuakseen. Tarvittavaa aktivaatioenergia voidaan laskea käyttämällä ionisia suoloja, kuten glutaraldehydiä. Xi et al. (2017) mukaan on mahdollista, että adhesiivin aldehydiryhvät reagoivat puun ligniinin kanssa muodostaen kovalenttisia sidoksia. Kovalenttiset sidokset parantavat sidoslujutta.

4.4.2 Polyvinyyliasetaatti

Polyvinyyliasetaatti (PVAc) on termoplastinen polymeeri ja siitä valmistetaan liimoja, jotka ovat veden ja polymeerimolekyylien dispersioita. (Salvini, Saija et al. 2009) Näitä Dispersioita käytetään laajasti adhesiivina puuteollisuudessa. Dispersiot kovettuvat fysikaalisesti veden haihtuessa, jolloin polymeerien välille muodostuu vetysidoksia. Polyvinyyliasetaatin etuja ovat hyvä adheesiolujuus ja hinta, mutta sillä on yksinään heikko kosteudenkesto. (Gadhane, Mahanwar et al. 2018, Akkanen, Jännes et al. 2017)

PVAc-liimat ovat vesidispersioita. Dispersiossa on läsnä kaksi tai useampi faasia, jotka ovat sekoittuneet tasaisesti toisiinsa, mutta eivät liuenneina. Emulsio on dispersio, jossa molemmat faasit ovat nestemäisiä. Jatkuva faasiseen materiaaliin sekoittuneita, dispergoituneita, faaseja kutsutaan kolloideiksi. (Rennie, Law 2016) PVAc-liima on emulsio, jossa on läsnä tällaisia kolloideja. Kolloidit vaikuttavat lopullisen adheesiosidoksen lujuuteen sekä kosteudenkestoon. Usein käytettyjä kolloideja ovat polyvinyyliakrylaatti (PVA) ja polyvinyylialkoholi (PVOH). Kolloideja käytetään stabiloimaan emulsiota. Kolloidit pieninä pitoisuuksina lisäävät adheesiolujutta. Kolloidien lisäys kuitenkin heikentää adhesiivin kosteudenkestoa, niiden sisältämien hydrofiilisten hydroksyyli-ryhmien (OH-ryhmä) vuoksi. (Qiao, Easteal et al. 2000)

PVAc on yksinään haurasta ja hydrofiilisten kolloidien lisäksi kosteudenkestoa heikentää myös liiman kuivuessa muodostuva epäjatkuva liimakerros, jolloin kosteus pääsee penetroitumaan liimakerrokseen heikentäen sen lujuutta. (Qiao, Coveny et al. 2002, Qiao, Easteal et al. 2000) Adhesiivin sitkeyttä ja kosteudenkestoa on mahdollista parantaa kopolymerisoimalla sitä hydrofobisempien tai ristosilloittuvien monomeerien kanssa. Ristosilloittuminen tapahtuu kolloidien hydroksyyli-ryhmien kautta ja kopolymeroinnissa toisen materiaalin monomeerit reagoivat PVAc:n kanssa muuttaen sen polymeerirakennetta. (Pocius 2002, Qiao, Easteal et al. 2000)

PVAc:n ominaisuuksien parantamiseen käytettyjä hydrofobisempia monomeereja ovat mm. etyleeni, butyyliakrylaatti ja metyyli-metakrylaatti. Kyseiset materiaalit

kopolymerisoituvat vinyylasetaatin kanssa. Emulsioon voidaan sekoittaa myös erilaisia hartseja ja kovetteita. Tällaisia ovat esim. aminohartsit, luonnonkumilateksi, glyoksaali, Lewis-hapot sekä isosyanaatti. (Qiao, Easteal 2001) Seostaminen hartsin kanssa lisää ristosilloittumisastetta. Hartsit myös täyttää mikroskooppisia aukkoja, joita kovettuneeseen PVAc-kalvoon jää, joten se lisää adheesiopinta-alaa ja estää veden tunkeutumisen liimakerrokseen. Kuivuessaan aminohartsit ja PVAc muodostavat verkkomaisen rakenteen. (Qiao, Easteal et al. 2000)

Ristosilloittuvien materiaalien, kuten formaldehydihartsit, käytössä ongelmana on niiden myrkyllisyys tai niiden haitallisuus liimattavalle pinnalle. Esimerkiksi happokatalyyttinä käytettävät metallien suolat aiheuttavat puun hajoamista. Eräs keino PVAc:n ristosilloittamiseen ilman haitallisia yhdisteitä on modifioidun polyvinyylialkoholien käyttö. PVA-kolloideista on saatu modifioimalla hydrofobisempia, mikä parantaa adhesiivin kosteudenkestoa. (Qiao, Coveny et al. 2002)

4.4.3 Ligniini

Ligniini on puusta saatava luonnollinen polymeeri, joka toimii kuitujen sidosaineena. Ligniiniä käytetään teollisuuden polttoaineena, mutta kiinnostus ligniinin jalostamiseen muihin käyttökohteisiin on lisääntymässä. Suurin osa erotetusta ligniinistä on raakaligniiniä, jota syntyy paperinvalmistuksen sivutuotteena. (Ferdosian, Pan et al. 2017) Ligniinin rakenne ja ominaisuudet vaihtelevat hyvinkin paljon riippuen ligniinimassan lähteestä ja prosessoinnista. Liimasovelluksissa ligniiniä käytetään korvaamaan osittain synteettisiä hartseja. Ligniini toimii parhaiten, kun se vastaa rakenteeltaan hartseja, jota ollaan korvaamassa. (Kalami, Chen et al. 2018)

Ligniini koostuu kolmesta monomeerista: koniferyylialkoholi, sinapyylialkoholi ja p-kumaryylialkoholi (Ferdosian, Pan et al. 2017). Erotettaessa puusta ligniini on passiivista. Ligniini on polymerisoitava, jotta se aktivoituu ja käyttö adhesiivina on mahdollista. (Sujatha, Nath et al. 2017) Ligniinin haasteena adhesiivi sovelluksissa ovat kuitenkin sen suuri molekyyli massa, heikko reaktiivisuus sekä korkea polydispersiteetti, eli ligniini koostumus saattaa vaihdella hyvinkin paljon. (Kalami, Chen et al. 2018)

Ligniinipohjaiset liimat voidaan jakaa kahteen ryhmään: ligniinipohjaiset formaldehydiliimat ja formaldehydivapaat liimat. Kirjallisuudesta löytyy tutkimuksia, joissa osa perinteisestä raakaöljypohjaisesta fenolihartsista osa on vanerin liimauksessa korvattu ligniinillä. Yhdistämällä ligniiniä ja synteettisten hartsien kanssa on

tutkimuksissa saavutettu vähintään yhtä hyvät fyysiset, kemialliset-, lämpö-, ja mekaaniset ominaisuudet, kuin synteettisillä hartseilla yksinään. (Kalami, Chen et al. 2018) Ligniinin ja hartsin suhde on kuitenkin kriittinen, johtuen ligniinin heikommasta reaktiivisuudesta formaldehydin kanssa. Tutkimuksissa Wang et al. (2009) ja Chen et al. (2018) perinteisiin hartseihin verrattaviin adheesio-ominaisuuksiin on päästy korvaamalla enintään 50 paino-% ligniinillä. (Ferdosian, Pan et al. 2017)

Formaldehydivapaita ligniinipohjaisia liimoja on tutkittu hyvin vähän. El Mansouri et al. (2006) tutkimuksessa testattiin ligniinin ja glyoksaalin käyttöä ilman formaldehydiä. Glyoksaali ei ole yhtä reaktiivinen, kuin formaldehydi, mutta se on haihtumaton ja myrkytön. Tutkimuksessa käytettiin kalsium-lignosulfonaatti ligniiniä, joka on saostamalla erotettu ligniini. Ligniini modifioitiin glyoksaalin kanssa ja modifioitu ligniini yhdistettiin polymeeriseen difenyyliimetaani di-isosyanaattiin (pMDI). Liimaa testattiin lastulevyn liimaukseen. Formaldehydivapaalla liimalla saavutettiin ulkokäyttöön soveltuvalle levyille asetettujen standardien mukaiset lujuudet. Toisessa tutkimuksessa El Mansouri et al. (2011) valmistettiin liimaa, joka ei sisällä lainkaan synteettisiä hartseja, Tätä liimaa testattiin vanerin liimaukseen. Liima sisälsi glyoksaalilla modifioitua ligniiniä ja tanniinia sekä kovettajana heksamiinia. Liimalla saavutettiin sisäkäyttöön soveltuvan vanerin vaatimukset.

4.4.4 Tärkkelys

Tärkkelys on kasviperäinen molekyyli. Teollisuudessa käytetään peruna-, maissi-, vehnä- ja tapiokatärkkelyksiä. Kasvit valmistavat glukoosista biosynteesissä pitkäketjuisia tärkkelys- ja selluloosamolekyyliä. Glukoosiyksiköt ovat sitoutuneet selluloosassa hydrofobisilla ja tärkkelyksessä hydrofiilisillä sidoksilla. Hydrofiilisten sidosten takia tärkkelysmolekyylit kestävät huonosti kosteutta. Tärkkelys koostuu amyloosista, joka on lineaarinen molekyyli, ja amylopektiinistä, joka on haarautunut molekyyli. Amyloosi- ja amylopektiinimolekyylit muodostavat tärkkelykseen kiteytyneitä sekä amorfisia alueita. Kiteiset alueet vähentävät tärkkelyksen reaktiivisuutta. (Ellis, Cochrane et al. 1998)

Tärkkelyksen molekyylirakennetta on modifioitava, jotta sen käyttö adhesiivina on mahdollista. Tärkkelys on vartenotettava materiaali liimoihin edullisuutensa, prosessoitavuuden, adheesio-ominaisuuksien sekä kalvon muodostusominaisuutensa ansiosta. Tärkkelystä käytetään mm. paperin päällystyksen, sillä tärkkelyksellä saadaan parannettua paperin lujuutta ja pinnan laatua. (Brander, Thorn 1997)

Liimasovelluksissa raakatärkkelyksellä on huono kosteudenkesto ja pitkät kovettumisajat. Kemiallisen modifioinnin avulla tärkkelystä on mahdollista käyttää adhesiivina jopa kosteissa loppukäyttökohteissa. (Whistler 2009) Liimasovelluksiin tärkkelyksen kosteudenkesto parannetaan usein esteröinnillä, jolloin tärkkelyksen hydroksyylioryhmät muunnetaan hydrofobisiksi estereiksi esimerkiksi reaktiolla maleiininhydridin kanssa ja sitten ristosilloittamalla tärkkelys polyisosaanatin kanssa. (Ferdosian, Pan et al. 2017)

Tärkkelyksen sidoslujutta ja kosteudenkesto voidaan parantaa myös kopolymerisoimalla toisen polymeerin kanssa. Wang et al. (2012) tutkivat maissitärkkelyksen käyttämistä vinyylisetaatin (VAc) kanssa. Tutkimuksessa tärkkelyksen ja polyvinyylisetaatin seoksella saatiin parannettua sidoslujutta verrattaessa pelkkään tärkkelykseen. Sidoslujuus jäi kuitenkin pelkkään polyvinyylisetaattiin verraten alhaiseksi. Seoksella saavutettiin kuivana 2,29 MPa sidoslujuus, kun pelkällä tärkkelyksellä sidoslujuus oli 0,25 MPa ja PVAc:lla 6,10 MPa. Kopolymerisointi paransi sidoslujutta niin, että tärkkelyksen ja VAc:n kopolymeerillä saavutettiin kuivana 3,65 MPa lujuus. Tärkkelyksen ja VAc:n yhdistelmän adheesio-ominaisuuksia voidaan parantaa ristosilloittamislisäaineilla, kuten N-hydroksimetyyliakryyliamidilla. (Gu, Cheng et al. 2019)

Zia-Ud-Din et al. (2018) tutkivat maissitärkkelyspohjaista liimaa, jossa käytettiin lisäaineena vinyylisetaattia ja butyyliakrylaattia (BA), joilla saatiin aikaan oksastuspolymerisaatio. Oksastuspolymerisaatio paransi liiman sidoslujutta. Tutkimuksessa suurin lujuus saavutettiin vinyylisetaatti / butyyliakrylaatti suhteella 6 : 4. Tällä suhteella liiman viskositeetti oli pienin ja alhaisen viskositeetin ansiosta liima levittyi hyvin pinnalle ja tunkeutui puun pinnan huokosiin. Tällä VAc / BA suhteella lateksipartikkelit jakautuivat tasaisesti liimaan, ja tuloksena oli pelkkää vinyylisetaattiliimaa sileämpi adheesiokalvo ilman erilaisia mikrofaaseja. Butyyliakrylaatti on hydrofobinen, joten sen lisääminen parantaa myös sidoksen kosteudenkesto.

4.5 Paperin ominaisuudet

Paperilajeja valmistetaan lukuisia erilaisia eri käyttötarkoituksiin. Paperin valinta tiettyyn sovellukseen voi olla haaste, sillä yksittäistä standardijärjestelmää eri paperilajeille ei ole. Myöskään termistö ei ole standardoitua ja paperilajien nimikkeitä saatetaan käyttää

ristikkäin. Paperin toiminnallisuutta tietyssä sovelluksessa on myös vaikea ennustaa mitattavien ominaisuuksien avulla. Loppukäytön kannalta on kuitenkin tärkeää määritellä tiettyjä rakenteellisia ominaisuuksia paperille. Paperin mitattavia toiminnallisia ominaisuuksia ovat esimerkiksi neliömassa ja lujuusominaisuudet. Paperille voidaan mitata esimerkiksi numeerinen vetolujuus, repäisylujuus ja jäykkyysarvo. (KnowPap b)

Paperi muodostuu toisiinsa sitoutuneista selluloosakuiduista. Paperin ominaisuudet määräytyvät pääosin valmistuksessa käytetyn massan ominaisuuksista. Selluloosamassan lisäksi paperi voi sisältää erilaisia täyteaineita, joiden tehtävänä on laskea paperin hintaa tai parantaa optisia ominaisuuksia. Paperilajit voidaan luokitella kuitukoostumuksensa mukaan mekaanisesta tai kemiallisesta massasta valmistettuihin ja uusiopapereihin. (KnowPap a)

Mekaaninen massa valmistetaan erottelemalla puukuidut toisistaan mekaanisen rasituksen avulla. Mekaanisessa erottelussa kuituja hiotaan ja hierretään. Mekaaninen erottelu aiheuttaa kuitujen katkeamista ja heikentää niiden lujuutta. Kemiallisessa erottelussa kuidut liuotetaan erilleen kemikaalien ja lämpötilan avulla. Kemiallinen erottelu tuottaa pitkiä ja sileitä kuituja, jotka parantavat paperin lujuusominaisuuksia. Kemiallisesti eroteltua kuitua käytetään loppukäytön tarpeen mukaan yhdessä mekaanisen massan kanssa parantamaan paperin ominaisuuksia. Uusiopaperin raaka-aineena käytetään kierrätetystä paperista valmistettua massaa. (KnowPap a)

Paperin lujuus syntyy yksittäisen kuitujen lujuudesta, kuitujen sitoutumisasteesta ja sidosten lujuudesta. Neliömassan muutos muuttaa kuitujen ja lisäaineiden määrää, jolla on suora vaikutus paperin ominaisuuksiin. Paras vetolujuus paperiin saadaan käytettäessä lujia suoria kuituja, joilla on hyvät sitoutumisominaisuudet toisiin kuituihin. Yksittäisen kuidun lujuus on paperin suurin mahdollinen vetolujuus. Kuituja jauhettaessa kuitujen sitoutumiskyky paranee. Kuitujen suurempi sitoutumislujuus parantaa paperin repäisylujuutta. Liika jauhaminen kuitenkin heikentää kuitujen lujuutta ja aiheuttaa kuitujen katkeilemista. (KnowPap b)

Paperin märkäljuudella tarkoitetaan vedellä kyllästetyn paperin mekaanista lujuutta. Paperin kastuessa sen vetolujuus alenee. Vetolujuuden aleneminen johtuu kuitujen välisten vetysidosten korvautumisesta kuidun hydroksyyliyhymien ja vesimolekyylien välisillä sidoksilla. Kastuminen sen sijaan parantaa repäisylujuutta, kosteuden tehdessä paperin rakenteesta plastisemman. (KnowPap b)

Paperin ominaisuuksia voidaan parantaa erilaisilla päällysteillä, kuten tärkkelyksellä. Tärkkelyspäällysteistä paperia käytetään mm. pakkauksissa ja painotuotteissa. Kosteita loppukäyttökohteita varten tärkkelyksen kosteudenkestoa pyritään parantamaan lisäaineilla. Yleisesti käytettyjä ovat alkyyli-keteeni-dimeeri, styreeni-maleiinihappoanhydridi, styreeniakryylihapo, styreeni-akrylaatti sekä glyoksaali. (Lin, Kuang et al. 2017)

Dinghan et. al. (2017) mukaan tärkkelyksen kyky kalvon muodostamiseen vaikuttaa lopullisen paperin kosteudenkestoon. Dinghan et al. (2017) tekemässä tutkimuksessa saatiin paperin kosteudenkestoa parannettua lisäämällä tärkkelykseen PVA:ta, jolla saatiin parannettua päällysteen kalvon muodostusominaisuuksia. Toisaalta taas tärkkelyksen ja PVA:n sisältämät hydroksyyli-ryhmät heikentävät päällysteen kosteudenkestoa. Kosteudenkestoa voidaan parantaa ristikuitajalisäaineilla.

5. TUOTTEEN OMINAISUUDET

Tässä kappaleessa esitellään kuinka CPM/PDD-menetelmää käytetään tässä työssä. Lisäksi määritellään CPM-menetelmän mukaisesti vaatimukset tuotteelle sekä selvitetään tuotteen ominaisuuksien välillä valitsevat riippuvuussuhteet. Kappaleen lopussa esitellään testijärjestelyt, joilla pyritään selvittämään teipin toiminnallisuutta.

5.1 CPM/PDD-menetelmän soveltaminen

Tässä työssä CPM/PDD-menetelmää hyödynnetään konseptien arvioinnissa. Tuotteen ominaisuuksien arviointi teoreettisesti on hankalaa, sillä adheesioilmiö on monimutkainen ja tietoa tämän kaltaisesta sovelluksesta on saatavilla hyvin vähän. Näin ollen teippiä lähdetään kehittämään testaamalla useita erilaisia variaatioita, sillä sauman toimivuuden testaaminen on edullista.

Osiossa 2.2.5 on esitelty CPM/PDD-prosessin teoria. Prosessi alkaa tuotteen vaatimusten määrittelyllä. Vaatimuksien tulee olla mahdollisimman tarkkoja ja yksiselitteisiä. Tässä työssä ongelmana vaatimusten määrittelyssä oli se, että tarkkoja numeerisia arvoja viilun märkäsaumausprosessin vaatimuksista teipille ei ole saatavissa. Osiossa 5.2 on määritelty tuotteen ominaisuudet ja tunnuspiirteet ja niiden vaatimukset. Vaatimukset on pyritty kuvaamaan mahdollisimman tarkasti. Empiirisissä kokeissa voidaan käyttää referenssinä kilpailijan teippiä, sillä kilpailijan tuotteen tiedetään toimivan hyvin viilun märkäsaumausprosessissa.

Vaatimusten määrittelyn lisäksi prosessin alussa selvitetään ominaisuuksien ja tunnuspiirteiden väliset riippuvuussuhteet. Riippuvuussuhteiden määrittely tehtiin tässä työssä kirjallisuustutkimuksen perusteella. Riippuvuussuhteet voivat varmistua ja tarkentua, kun tieto lisääntyy projektin edetessä. Riippuvuussuhteiden määrittely auttaa suunnittelijaa kehittämään tuotetta systemaattisesti, kun saatavilla on tieto siitä, mikä tunnuspiirre vaikuttaa kuhunkin ominaisuuteen ja toisin päin.

PDD-prosessin ensimmäinen vaihe on synteesi. Synteessissä tuotteen tunnuspiirteet määritellään kulloinkin saatavilla olevan tiedon mukaan. Ensimmäisessä vaiheessa tunnuspiirteet määritellään CPM-mallinnuksessa asetettujen vaatimusten perusteella. Seuraavassa vaiheessa, analyysissä, näitä valittuja tunnuspiirteitä testataan.

Tässä työssä viilun märkäsaumauksen olosuhteita pyrittiin mallintamaan testikappaleille, jotta saataisiin kerättyä tietoa teipin toimivuudesta oikeassa märkäsaumausprosessissa. Kaikkea ei pystytä ennustamaan testikappaleiden koekäyttäytymisestä, mutta testauksella pyritään valitsemaan parhaiten sovellukseen sopivat materiaalit varsinaiseen märkäsaumauskoneella tapahtuvaan testaukseen.

Jokainen testikierros sisältää PDD-prosessin mukaisen syklin ja jokaisen kierroksen tuotoksena on arvio siitä, kuinka hyvin tuote vastaa sille asetettuja vaatimuksia ja mitä tunnuspiirteitä tulee muuttaa, jotta päästään lähemmäksi vaatimuksien mukaisia ominaisuuksia. Konseptit on arvioitu ja pisteytetty suhteessa kilpailijan teippiin ja arvioinnit on esitetty kuvissa, joiden ansiosta useamman konseptin vertailu keskenään on helppoa.

5.2 Tuotteen vaatimusten määrittely

CPM/PDD-menetelmän mukaisesti tuotteen ominaisuuksille ja tunnuspiirteille määritellään vaatimuslistat. Vaatimusten määrittely on tärkeä vaihe ja määrittää suunnan koko projektille. Vaatimusten määrittelyssä voi ilmetä useita ongelmia, jotka on otettava huomioon, jotta päästään hyvään lopputulokseen. Esimerkiksi vaatimusten sanallinen määrittely voi jättää vaatimukset liian tulkinnanvaraisiksi ja vaatimukset usein sisältävät rajoitteita suunniteltavalle systeemille. Lisäksi tulee huomioida mitkä tuotteen vaatimuksista ovat ehdottomia ja kriittisiä esimerkiksi tuotteen toiminnallisuuden kannalta, ja mistä ominaisuuksista voidaan joustaa.

Taulukossa 2 on listattu märkäsaumausteipiltä vaaditut toiminnalliset ominaisuudet ja niille asetetut kriteerit. Suurin osa ominaisuuksien kriteereistä syntyy olemassa olevan prosessin ja laitteiston, eli märkäsaumauskoneen, vaatimuksista. Ympäristöystävällisyydellä pyritään saamaan kilpailuetua markkinoilla. Kriteereissä on pyritty kuvaamaan mahdollisimman tarkasti tuotteen vaatimuksia, mutta koska saumaus- ja vanerin valmistusprosessin vaatimuksista ei ole saatavilla tarkkaa numeerista tietoa, käytetään kriteerinä kilpailijan tuotetta, jonka tiedetään toimivan tuotannossa.

Taulukko 2 Märkäsaumausteipille asetetut ominaisuuksien vaatimukset

| Ominaisuudet | Kriteerit |
|------------------------|--|
| Suorana pysyminen | Teippi ei saa kaareutua pitkittäissuunnassa, jotta se asettuu puuta vasten saumatessa. |
| Kuumasaumattavuus | Sauman tulee muodostua saumattaessa kuumalla raudalla n. 300-350 C° 1 sekunnissa. |
| Kuumakovettuvuus | Sauman tulee kestää viilun kuivaus n. 180 C°. |
| Adheesio puuhun | Liima-aineen tulee muodostaa adheesio puun pinnan kanssa. |
| Kosteudenkesto | Sauman tulee kestää irtoamatta kosteassa viilussa 4 päivän ajan. |
| Mekaaninen lujuus | Sauman tulee kestää viilun koneellinen siirtäminen. |
| Ympäristöystävällisyys | Tuotteen tulee sisältää luonnonmukaisia liima-aineita, eikä tuote saa sisältää haihtuvia haitallisia yhdisteitä. |

Suorana pysyminen tarkoittaa, että teippi ei saa kaareutua, kun se auki rullataan saumauskoneessa. Kaareutunut teippi ei kulje oikein saumauskoneessa, ja toisaalta kaareutuminen saattaa aiheuttaa sen, että teippi ei asetu viilun pinnalle oikein. Kuumasaumattavuudessa kriittistä on saumautumisnopeus. Mitä nopeammin sauma muodostuu, sitä parempi kapasiteetti saumauskoneella saavutetaan. Lämpötilaa on mahdollista säätää prosessissa, mutta ensimmäisissä testeissä huomattiin, että yli 350 C° lämpötilassa paperin mekaaninen lujuus kärsii.

Kuumakovettuvuudella tarkoitetaan adhesiivin ominaisuutta säilyttää lujuutensa korkeissakin lämpötiloissa. Viilut kuivataan saumauksen jälkeen n. 180 C°:n lämpötilassa, jonka jälkeen viilut siirretään vielä vanerin liimaukseen. Näin ollen saumojen on säilytettävä ominaisuutensa viilun kuivauksen aikana. Adheesio puun

pinnan kanssa syntyy monista eri tekijöistä. Näitä tekijöitä on esitelty tarkemmin osiossa 4.1. Huomioon otettavia seikkoja liima-aineen optimoinnissa ovat varsinkin liiman määrä ja viskositeetti.

Tiedetään, että saumatut viilut voivat joutua odottamaan kuivausta, jolloin kosteita viiluja säilytetään pinottuina. Sauman tulee kestää kosteana mahdollisesti useita päiviä. Neljän päivän raja on asetettu sen perusteella, että pidempään kosteana säilytetyn viilun huomattiin alkavan tummua ja pidempään kosteana säilytetyssä viilussa puun ominaisuudet alkoivat heikentyä.

Mekaanisen lujuuden vaatimukset tulevat tuotannosta, jossa viiluja siirretään koneellisesti prosessista toiselle sekä kuivauksesta, jossa puun kutistuminen aiheuttaa jännitysmomentteja teippiin. Dai et. al. (2009) mittasivat tutkimuksessaan 5 – 7 % kutistumisia testikappaleen leveydessä, eli puun syiden vastaisessa suunnassa. Muodostuva rako viilun kappaleiden välissä oli enintään 2 mm. Kutistumisprosentti riippuu puulajista ja puun kosteusprosentista lähtötilanteessa. Tuotanto-olosuhteiden aiheuttamista jännityksistä ei kuitenkaan ole saatavilla numeerisia arvoja, joten kehitettävän teipin mekaanista lujuutta verrataan kilpailijan teippiin, jonka tiedetään toimivan tuotannossa. Huomioitavaa on, että puun vetolujuus puun syiden vastaisessa suunnassa on suhteellisen heikko ja teipiltä vaadittu lujuus on enintään puun vetolujuuden suuruinen.

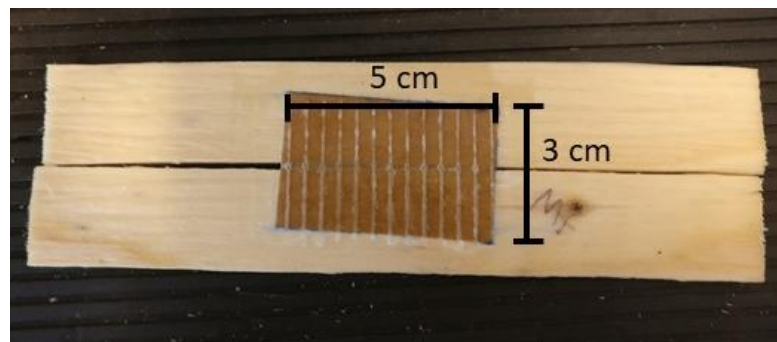
Ympäristöystävällisyys ei ole pakollinen kriteeri, vaan toivottu ominaisuus. Ympäristöystävällisillä liimavalinnoilla voitaisiin saada kilpailuetua ja se olisi hyvä keino erottua markkinoilla. Kirjallisuustutkimuksen perusteella täysin luonnonmukaisten ja myrkyttömien liima-aineiden käyttö yksinään tämän kaltaisessa sovelluksessa ei kuitenkaan tunnu todennäköiseltä. Ympäristöystävällisyyteen liitetään tässä myös joidenkin liimojen sisältämä formaldehydi, joka on ihmiselle haitallista haihtuessaan.

Taulukkoon 3 on listattu projektin alussa tiedetyt tunnuspiirteet ja niiden vaatimukset. Myös tunnuspiirteistä osa on ennalta määriteltä, jotta tuote toimii olemassa olevassa prosessissa. Osa tunnuspiirteistä optimoidaan projektin aikana.

Taulukko 3 Märkäsaumausteipille asetetut tunnuspiirteiden vaatimukset

| Tunnuspiirteet | Kriteerit |
|-----------------------------|---|
| Teippirullan leveys | 5 cm. |
| Leikatun teippipalan pituus | 1,8 cm (sahareunainen teippipala). |
| Paperin neliömassa | Teipiltä vaadittava lujuus |
| Liiman määrä | Puun hyvä kastuminen ja liiman imeytyminen puuhun |
| Liiman viskositeetti | Teipin helppo valmistaminen |

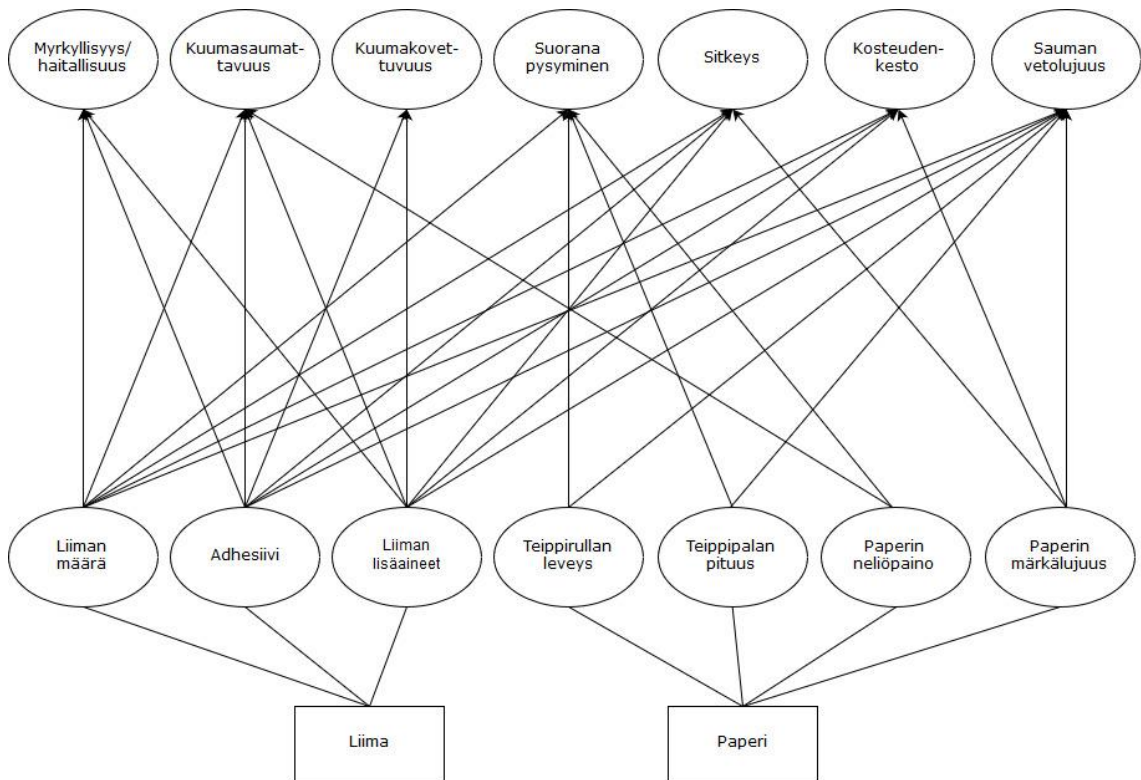
Teippirullan leveys määräytyy märkäsaumauskoneesta. Teipin kuljettimien ja saumausraudan koon vuoksi teipin suurin sallittu leveys on 5 cm. Saumauskone leikkaa teippirullasta sahareunaisen palan. Kunkin teippipalan leikkausleveys on 1,8 cm, mutta sahareunaisen muodon ansiosta teippi ulottuu viilussa leveämmälle alueelle. Tämän vuoksi testeissä käytetään 3 cm levyistä teippipalaa. Kuvassa on 7 saumattu testikappale, josta nähdään testeissä käytettyjen teippien mitat.

**Kuva 7** Saumattu testikappale

Paperin neliömassa vaikuttaa siihen, kuinka paljon liima-ainetta paperiin imeytyy, sekä paperin lujuuteen. Liiman määrän ja viskositeetin vaikutuksesta adheesiolujuuteen on kerrottu osiossa 4.1. Liiman viskositeetti vaikuttaa myös teipin valmistusteknisiin ominaisuuksiin.

5.3 Ominaisuuksien riippuvuussuhteet

Märkäsaumausteippiä kehitettäessä on tärkeää tunnistaa ominaisuuksien ja tunnuspiirteiden väliset riippuvuussuhteet, jotta tuotteen ominaisuuksia voidaan kehittää systemaattisesti. Kuvassa 8 on esitetty nuolien avulla mihin ominaisuuksiin kukin teipin tunnuspiirteistä vaikuttaa.



Kuva 8 Ominaisuuksien ja tunnuspiirteiden riippuvuussuhteet

Riippuvuussuhteet ovat päätelmiä, jotka pohjautuvat kirjallisuustutkimuksessa hankittuun tietoon ja niitä on tarkennettu empiiristen tutkimusten perusteella. Kaaviosta voidaan huomata, että suurin merkitys teipin ominaisuuksiin on liimalla ja, että liima-aineen valinta vaikuttaa lähes kaikkiin ominaisuuksiin.

Teipin myrkyllisyys tai haitallisuus syntyy liima-aineesta. Kuten teoriaosuudessa luvussa 4 on todettu, liimoissa käytetyt katalyytit ja lisäaineet ovat usein erittäin reaktiivisia ja haitallisia ihmisille ja / tai ympäristölle. Haitallisuuteen vaikuttaa myös haitallisen aineen määrä ja esimerkiksi formaldehydin kohdalla on EU-säädöksissä asetettu sallitut pitoisuudet kussakin käyttötarkoituksessa.

Kuumasaumattavuuteen vaikuttaa valittu liimamateriaali ja käytetyt lisäaineet, eli liiman kemiallinen koostumus, joka vaikuttaa liiman kovettumismekanismiin ja näin olleen teipin kuumasaumattavuuteen. Myös liiman määrällä ja paperin neliömassalla on vaikutusta teipin kuumasaumattavuuteen. Paperin neliömassa vaikuttaa siihen kuinka paljon liimaa paperiin imeytyy. Liiman määrä ja paperin neliömassa yhdessä vaikuttavat siihen, kuinka hyvin liima pääsee kastelemaan viilun pintaa ja kuinka liima-aine pääsee tunkeutumaan puun pinnan huokosiin muodostamaan mekaanista adheesiota. Kuumakovettavuuteen taas vaikuttaa ainoastaan liima kemiallinen koostumus ja kovettumismekanismi, eli millaisen rakenteen liima kuivuttuaan muodostaa ja kuinka tämä rakenne kestää lämpöä.

Suorana pysyminen on ongelma, kun paperi päällystetään vain toiselta puolelta. Tällöin liima kuivuttuaan käyristää paperia. Toiset liima-aineet käyristävät paperia enemmän kuin toiset. Liima-aineen valinnan lisäksi paperin käyristymistä voitaisiin ehkäistä esipäällystämällä paperi. Myös paperin ominaisuuksista riippuu, kuinka paljon teippi mahdollisesti pääsee käyristymään.

Viimeiset kolme ominaisuutta sitkeys, kosteudenkesto ja sauman vetolujuus ovat ominaisuuksia, jotka kertovat teipin ja sauman mekaanisesta lujuudesta. Näiden välillä on kuitenkin eroja siinä mitkä tunnuspiirteet kuhunkin ominaisuuteen vaikuttavat, joten ominaisuudet esitellään riippuvuuskaaviossa erillään.

Teipin sitkeyteen vaikuttavat paperin märkäljuus ja liimamateriaali. Kosteudenkeston taas näiden lisäksi liiman määrä, sillä teipin kosteudenkesto riippuu myös adheesio mekaanisista ominaisuuksista. Sitkeys ja kosteudenkesto vaikuttavat sauman vetolujuuteen, mutta näiden lisäksi myös adheesio pinta-alalla, eli teippirullan leveydellä ja teippipalan pituudella on merkitystä.

5.4 Materiaalien testaus

Testimateriaalit valittiin kirjallisuustutkimuksen perusteella yhdessä yhteistyöyritysten asiantuntijoiden kanssa. Koska teipin toimivuuden arviointi teoreettisesti on hankalaa ja toisaalta testien tekeminen on nopeaa, on mahdollista kerätä tietoa ja parannella tuotetta jopa useamman testikierroksen ajan. Testejä jatketaan, kunnes tuote vastaa ominaisuuksiltaan kilpailijan teippiä tai projektin määräaika tulee vastaan.

Testien tavoitteena on mallintaa olosuhteita, joille teippi altistuu vanerin valmistusprosessissa. Testikappaleille suoritetaan kuumasaumaus, kosteusaltistus sekä

vetokoe. Testattavat saumat valmistettiin Lemtapes Oy:n kuumasaumauslaitteella. Testilaitteessa muunneltavia parametrejä ovat saumauslämpötila, -aika ja -paine. Saumauspaine oli kaikissa näytteissä 5 bar, jolla huomattiin laitteen painavan teipin tiiviisti viilun pintaan kiinni. Kosteat viilut säilytettiin pakkasessa ennen testausta. Testiä varten viilujen annettiin sulaa ja viilusta leikattiin puun syiden suuntaisesti 3 cm levyisiä kappaleita. Saumaukseen käytetty laite näkyy kuvassa 9.



Kuva 9 Saumauslaite

Saumauksen jälkeen testikappaleet suljettiin tiiviisti muovipussiin, jotta ne pysyvät kosteana. Sauman lujuutta seurattiin kosteusaltistuksen ajan. Kosteusaltistuksella pyrittiin mallintamaan tuotannon olosuhteita, joissa viilua voidaan varastoida kosteana useita päiviä ennen kuivausta.

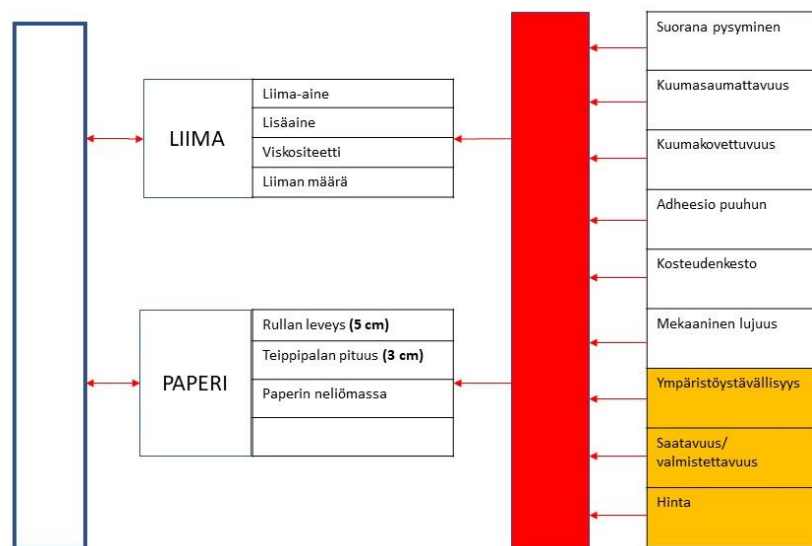
Vetokokeilla selvitetään sauman mekaanista lujuutta. Sauman kohdistuu veto- ja taivutusjännityksiä, kun viiluja siirretään koneellisesti. Viilun kuivauksessa puu kutistuu ja aiheuttaa voimakkaita vetojännitysmomentteja teippiin. Teipin kestoa näiden jännitysten osalta arvioidaan vetokokeen avulla, jossa referenssinä käytetään kilpailijan teipin lujuutta. Vetokokeessa sauman pettäminen voi tapahtua joko puun rikkoutumisella, teipin rikkoutumisella tai teipin irtoamisella. Puun vetolujuus on rajoittava tekijä teipin lujuusvaatimukselle ja puun rikkoutuessa vetokokeessa sauman voidaan katsoa olevan riittävän luja. (Dai, He et al. 2009)

Osa testimateriaaleista saatiin valmiiksi päällystettyinä ja ne sisälsivät vaihtelevia paperilaatuja. Osa päällystettiin Tampereen yliopistolla sauvapäällystyslaitteella ja tällöin käytössä oli Kotkamills Oy:n Absorbex voimapapereita, joiden neliömassat olivat 78 g/m^2 ja 100 g/m^2 . Päällystyksen jälkeen paperi kuivattiin kuivauskaapissa. Päällystetty ja kuivattu paperi punnittiin, jotta saatiin selville päällysteen määrä.

6. TUOTEKEHITYSPROSESSI

6.1 Ensimmäinen iteraatiokierros

PDD-menetelmän ensimmäisessä vaiheessa, synteisissä, vaadittujen ominaisuuksien perusteella määritellään tärkeimmät tunnuspiirteet kehitettävälle tuotteelle. Kuvassa 10 on listattu CPM-prosessin mukaisesti osiossa 5.2 määritellyt vaatimukset teipille. Ominaisuuksista ne, joilla ei ole merkitystä tuotteen toiminnallisuuden kannalta on merkitty kuvaan oranssilla. Nämä vaatimukset ovat sellaisia, joiden voidaan olettaa tuovan lisäarvoa tuotteelle, mutta eivät ole välttämättömiä toimivan tuotteen kehittämisen kannalta. Näitä ominaisuuksia voidaan käyttää myöhemmässä vaiheessa, kun eri konsepteja verrataan keskenään. Vasemmalla oleva palkki kuvaa tunnuspiirteiden välisiä riippuvuuksia ja rajoitteita ja punainen palkki tunnuspiirteiden ja ominaisuuksien välisiä riippuvuuksia.



Kuva 10 ensimmäisen kierroksen synteisi

Projektin alussa teipille määriteltäviä tunnuspiirteitä ovat leveys sekä teippipalan pituus. Nämä mitat on merkitty kuvaan 10. Muut tunnuspiirteet täsmentyvät kehitystyön edetessä. Kaikkia liiman tunnuspiirteitä ei ole ilmoitettu tässä työssä tuotesuojan vuoksi. Prosessin seuraavassa vaiheessa, analyysissä, tuotteen ominaisuuksia testataan ja mitataan. Testauksessa käytetään valittuja tunnuspiirteitä. Tässä projektissa teipin analyysi tehdään vertaamalla kehitettävää teippiä kilpailijan tuotteeseen.

Ensimmäiselle testikierrokselle valittiin useita erilaisia formaldehydihartsiyhdistelmiä. Tarkoituksena oli saada yleiskuva siitä, miten erilaiset hartsit käyttäytyvät märkäsaumauksessa ja millainen kosteudenkesto kullakin hartsilaadulla on. Näytteet saatiin valmiina Prefere Resins Oy:ltä. Testeissä mukana oli fenoli-, melamiini- ja urea-formaldehydihartseja erilaisina yhdistelminä sekä hartseja, joissa mukana oli myös ligniiniä. Hartsilaatuja testattiin erilaisilla paperilaaduilla.

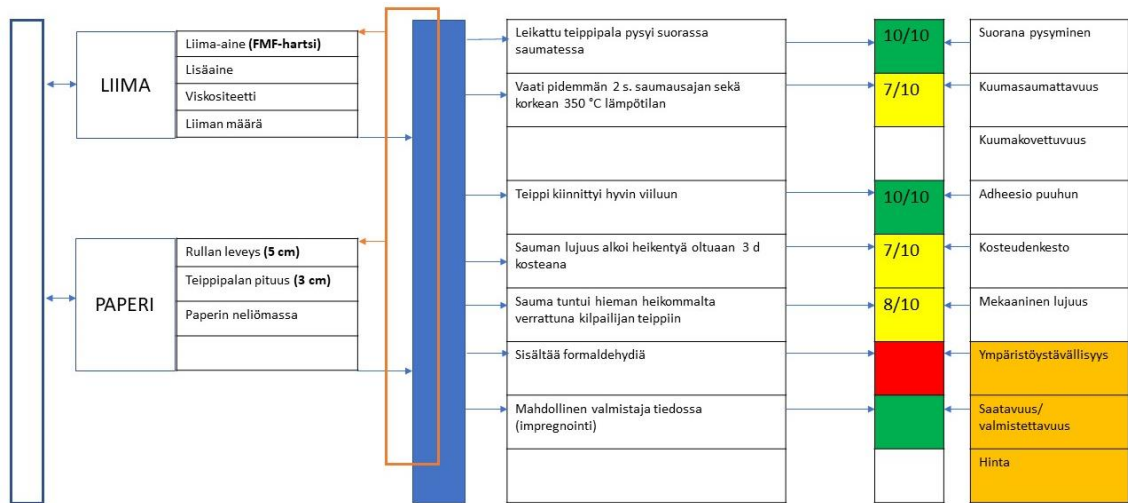
Testiin valittiin myös CH Polymersilta saatuja dispersioliimoja, jotka ovat polyvinyyliasetaatti-akrylaatti dispersio ja tärkkelys-styreeni-akrylaatti dispersio, sekä Beardow Adamsilta saatuja tärkkelyksestä valmistettuja dekstriiniliimoja. Näistä liimoista valmistettiin näytteet sauvapääällystyslaitteella Tampereen yliopistolla. Paperina käytettiin 100 g neliömassaista Kotkamills Oy:n voimapaperia. Dekstriiniliimoilla saatiin aikaan hyvä adheesio viiluun, mutta teippi irtosi heti sauman kastuttua. Kuten teoriaosiossa kävi ilmi, on tärkkelyksen kosteudenkesto yksinään heikko ja tämä näkyi myös märkäsaumaustesteissä, joten näiden dekstriiniliimojen tarkastelu jätetään tämän työn empirisen osuuden ulkopuolelle.

Testikappaleet valmistettiin märästä viilusta. Viilusta leikattiin puun syiden suuntaisesti 3 cm levyisiä kappaleita, jotka saumattiin Lemtapes Oy:n kuumasauauslaitteella. Liimattavan teipin koko oli 3 x 5 cm. Kuumasauauksessa käytettiin 300 °C ja 350 °C lämpötiloja ja saumasajat olivat 1 ja 2 sekuntia. Saumauksen jälkeen testikappaleet pidettiin kosteana tiiviissä pusseissa 7 vuorokauden ajan. Kosteusaltistuksen aikana sauman lujuutta tarkkailtiin käsin vetämällä.

Testatut materiaalit on arvioitu PDD-menetelmän mukaisesti kuvissa 11-16. Kuvissa teipin toimivuus on pisteytetty asteikolla 1-10 ja sitä verrataan kilpailijan teippiin. Kilpailijan teipin ominaisuuksille on annettu arvosanat 10, sillä teipin tiedetään toimivan märkäsaumauskoneessa ja näin ollen sen ominaisuuksia voidaan pitää tavoitteena kehitettävälle teipille. Arviointi on merkitty vihreällä värillä, kun ominaisuuden on arvioitu vastaavaan kilpailijan teippiä. Keltaisella värillä merkityt ominaisuudet on arvioitu hieman kilpailijan teippiä huonommaksi ja punaisella merkityt huomattavasti huonommaksi, kuin kilpailijan teippi. Lisäksi kuviin on lisätty sanallinen arvio kunkin ominaisuuden onnistumisesta.

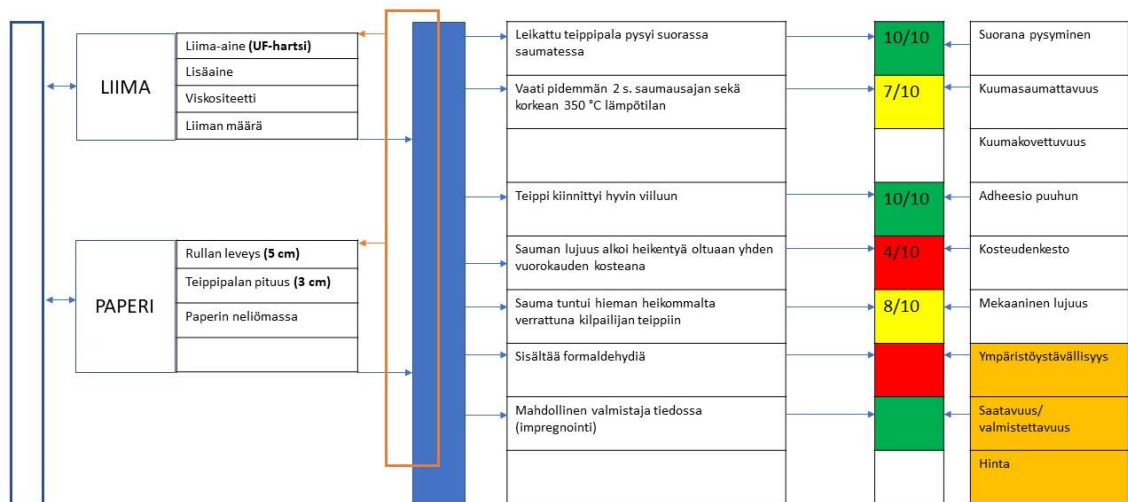
Ensimmäisellä testikierroksella parhaat tulokset saatiin fenoli-formaldehydihartsilla (FF), jonka ominaisuuksia on arvioitu kuvassa 11. Sen adheesio-ominaisuudet olivat käsin

Sauman lujuus alkoi heikentyä oltuaan kosteana 3 vuorokautta. Teippi pysyi kuitenkin kiinni koko kosteusaltistuksen ajan.



Kuva 13 FMF-hartsin arviointi ensimmäisen testikierroksen jälkeen.

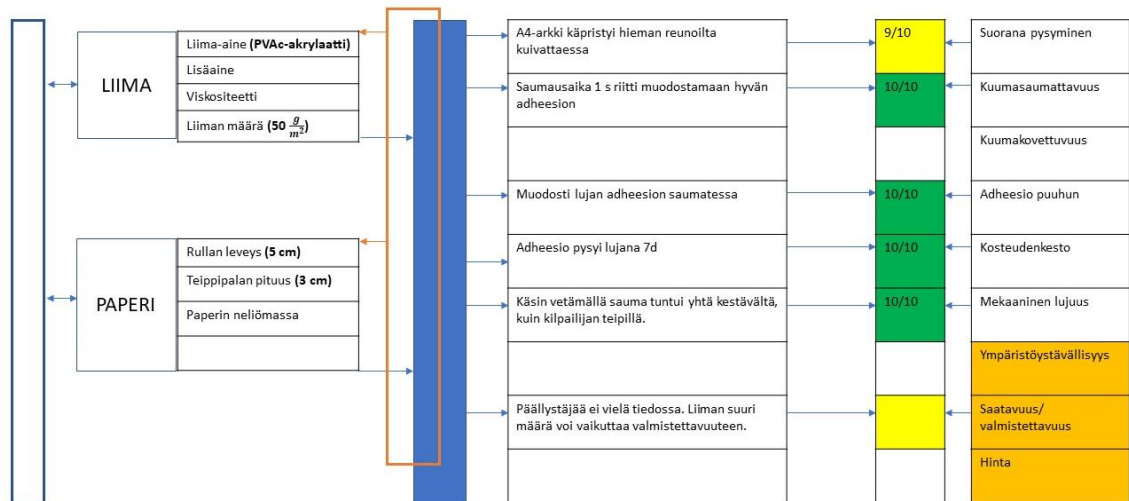
Kuvassa 14 on analysoitu urea-formaldehydihartsin ominaisuuksia. UF-hartsilla sauman muodostuminen vaati 2 sekunnin saumausajan. UF-hartsin kosteudenkesto oli testimateriaalien heikoin ja sauma alkoi heikentyä oltuaan kosteana yhden vuorokauden. Teippi irtosi kokonaan viilusta ensimmäisten kosteusaltistuspäivien aikana. Ureaa testattiin myös yhdistettynä melamiiniin sekä ligniiniin. Kaikilla ureaa sisältävillä hartseilla sauma heikentyi pian kosteusaltistuksen aikana.



Kuva 14 UF-hartsin arviointi ensimmäisen testikierroksen jälkeen.

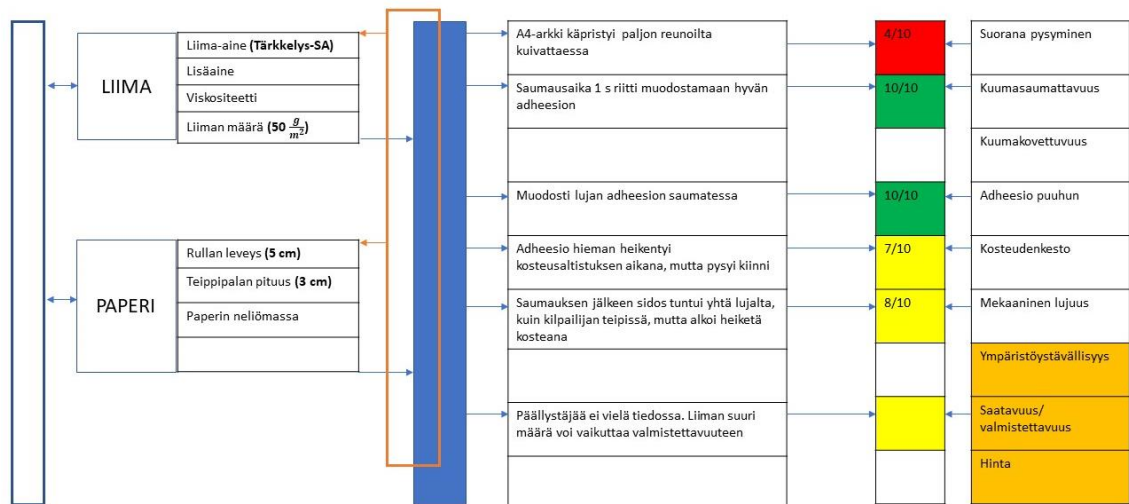
Kuvassa 15 on arvioitu PVAc-akrylaatti dispersion toimivuutta. Ensimmäisen testikierroksen perusteella adheesio- ja mekaaniset ominaisuudet vastasivat kilpailijan teippiä. Paperi käyristyi hieman reunoilta päällystyksen jälkeisessä kuivauksessa, mutta

leikattu teippipala asettui hyvin saumaustestissä. Lisäksi dispersion määrä oli melko suuri n. 50 g/m², joka voi aiheuttaa lisäkustannuksia tuotteen valmistuksessa.



Kuva 15 PVAc-akrylaatti dispersion arviointi ensimmäisellä testikierroksen jälkeen.

Tärkkelys-styreeni-akrylaatti dispersion toimivuutta on arvioitu kuvassa 16. Tärkkelys-akrylaatti dispersiolla päällystetty paperi käpristyi voimakkaasti päällystykseen jälkeisessä kuivauksessa. Kosteudenkesto oli hieman heikompi, kuin kilpailijan teipillä ja adheesio tuntui hieman heikkenevän kosteussaltistuksen aikana, mutta sauma pysyi kuitenkin kiinni koko kosteussaltistuksen ajan. Myös tärkkelys-styreeni-akrylaatti dispersionäytteissä päällystettä oli n. 50 g/m².



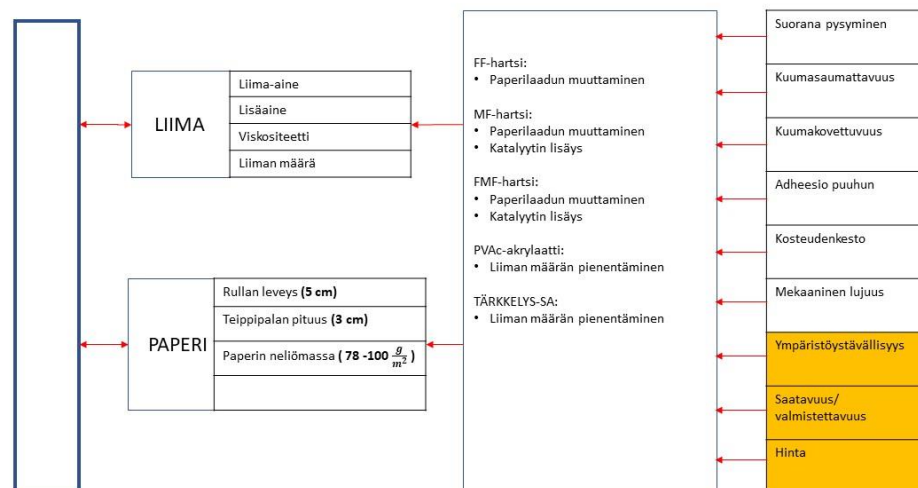
Kuva 16 Tärkkelys-SA dispersion arviointi ensimmäisen testikierroksen jälkeen.

Testeissä paras adheesio ja kosteudenkesto saavutettiin fenoli- ja melamiini-formaldehydihartseilla, näiden yhdistelmällä sekä PVAc-akrylaatti dispersiolla. Ligniiniä tai ureaa sisältävät hartsit sen sijaan muodostivat heikoimman adheesion. Näiden testien perusteella jatkokehitykseen valittiin FF-, MF- ja FMF-hartsit sekä PVAc-akrylaatti ja

tärkkelys-SA dispersiot. UF-hartsien kosteudenkesto ei täytä märkäsaumausteipille asetettuja vaatimuksia, joten ne jätetään pois seuraavilta jatkokehityskierroksilta. Seuraavalla testikierroksella tarkoituksena on testata MF- ja FMF-hartsia erilaisilla lisäaineilla, joilla voitaisiin parantaa teipin saumautumisnopeutta ja kosteudenkestoa. Lisäksi teipin sitkeyttä pyritään parantamaan erilaisella paperivalinnalla. Dispersioiden osalta seuraavissa testeissä tavoitteena on selvittää säilyvätkö teipin ominaisuudet, jos dispersion määrää pienennetään. Seuraavalla testikierroksella kosteusaltistusaikaa voidaan lyhentää 4 vuorokauteen, sillä testeissä huomattiin viulun ominaisuuksien alkavan heiketä, sen oltua tätä pidempään kosteana.

6.2 Toinen iteraatiokierros

Toisen iteraatiokierroksen lähtökohtana käytettiin ensimmäisellä kierroksella tehtyä arviointia. Arvioinnin pohjalta tehtiin synteesi, jossa teipin ominaisuuksien perusteella kehitettiin tunnuspiirteitä. Toisella iteraatiokierrokselle testattiin edellisellä kierroksella parhaiten menestyneitä hartsilaatuja, joita olivat fenoli-formaldehydiharts, melamiini-formaldehydiharts ja näiden sekoitus sekä polyvinyyliasetaatti-akrylaatti ja tärkkelys-styreeni-akrylaatti dispersiot. Dispersioiden kanssa käytetty märkäluja voimapaperi toimi hyvin ja toisella kierroksella myös hartseihin vaihdetaan paksumpi ja märkälujuudeltaan kestävämpi paperi. Toisen kierroksen synteesi, eli tunnuspiirteisiin tehtävät muutokset on esitelty kuvassa 17.

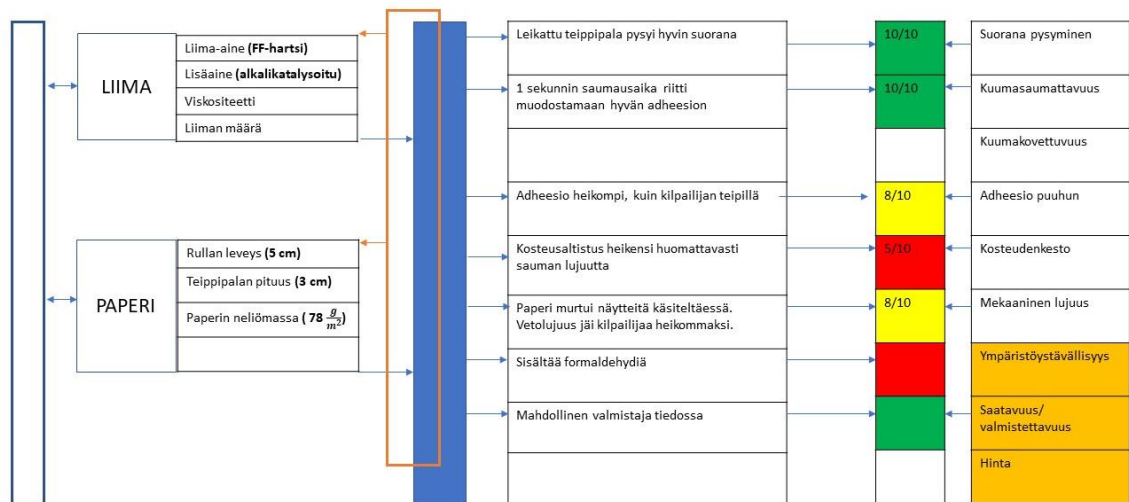


Kuva 17 Toisen iteraatiokierroksen synteesi

Formaldehydiharts näytteet saatiin valmiiksi impregnoituna ja paperina käytettiin 78 neliömassaista voimapaperia. Testikappaleet saumattiin 300, 325 ja 350 °C:ssa ja 1 ja 2 sekunnin saumausajoilla. Testeissä huomattiin, että 300 °C:ssa adheesio jäi

useimmilla hartseilla heikommaksi, joten on suositeltavaa käyttää saumauksessa korkeampaa lämpötilaa. Näistä näytteistä valmistettiin kaksi testierää. Toiselle erälle suoritettiin vetokokeet saumauksen jälkeen ja toinen erä pidettiin kosteusaltistuksessa 4 vuorokautta. Testeissä käytettiin 350 °C:ssa saumattuja näytteitä. Vetokoetulosten arvioinnissa on verrattu kilpailijan teipin ja testattavan teippimateriaalin keskimääräisiä vetolujuuksia. Tarkkoja vetolujuuksia ei tässä työssä esitetä tuotesuojasyistä. Testitulosten perusteella suoritettiin analyysi, jonka tulokset on esitetty kuvissa 18-22.

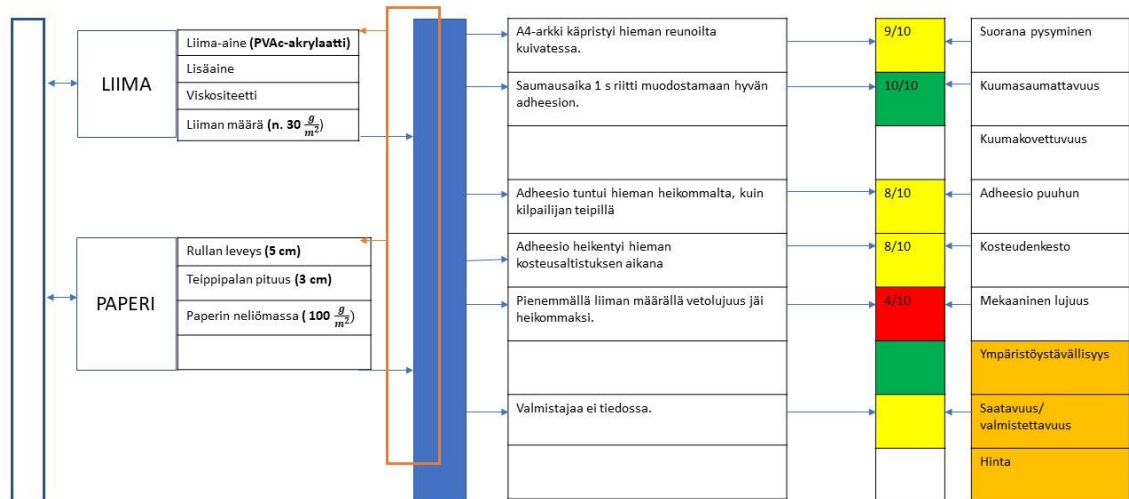
FF-hartsista testattiin kaksi erilaista näytettä, joista toisessa käytettiin alkalikatalysaattoria. Katalysaattorin käyttö ei testien perusteella parantanut merkittävästi teipin saumautumisnopeutta. FF-hartsin muodosti saumatessa hyvän adheesion viiluun yhden sekunnin saumausajalla. Ongelmana oli teipin hauraus, sillä paperi murtui useassa testikappaleessa. Vetokoe-testeissä sauman rikkoutuminen tapahtui kaikilla testikappaleilla paperin murtumisella, kun näytteitä testattiin kuivana. Kosteana tehdyissä vetokokeissa sauma rikkoutui kaikissa näytteissä teipin irrotessa viilusta. Kuivana katalysoimattomalla hartsilla sauman vetolujuus oli n. 50 - 60 % kilpailijan teipillä saumatun testikappaleen vetolujuudesta ja katalysoidulla hartsilla 80 – 95 %. 2 vuorokauden kosteusaltistuksen jälkeen kostealla testikappaleella saumanlujuus oli ainoastaan n. 30 % kilpailija teipin lujuudesta. Saumausajalla ei ollut merkitystä vetolujuuteen. Testeissä huomattiin myös, että viilun ollessa hyvin kostea irtoaa FF-hartsista väriä viiluun. FF-hartsin arviointi on esitetty kuvassa 18.



Kuva 18 FF-hartsin arviointi toisen testikierroksen jälkeen.

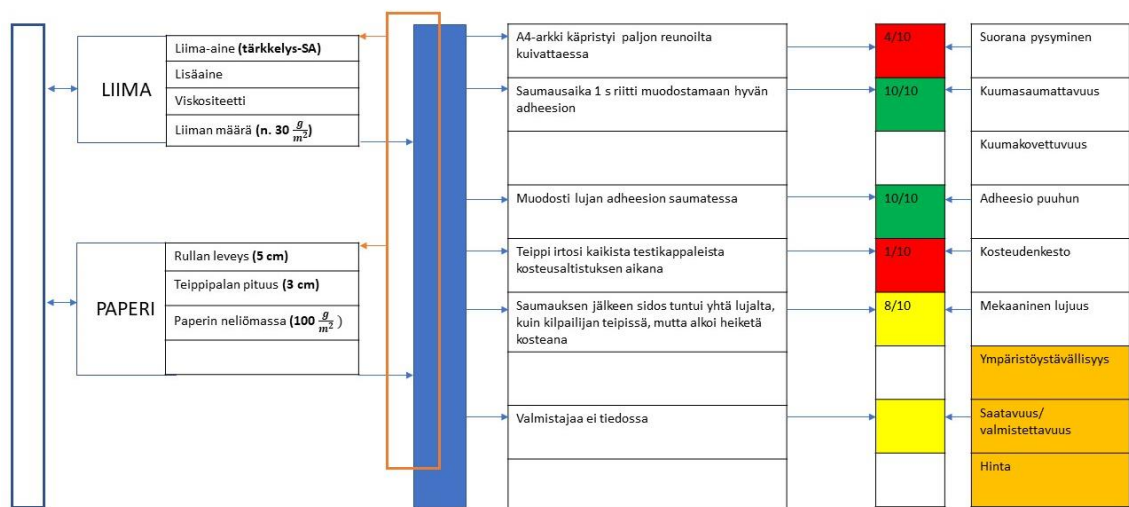
Toisella iteraatiokierroksella käytettiin modifioitua MF-hartsia, johon oli lisätty happokatalysaattoria. Kuten FF-hartsin kohdalla, myös näissä testikappaleissa ongelmaksi muodostui paperin murtuminen näytteitä käsiteltäessä. Vetokoe-testeissä

PVAc-akrylaatti dispersiota testattiin 100 g neliömassaisella voimapaperilla. Päälysteen määrää vähennettiin ja se oli näissä testikappaleissa 30-35 g/m². Teippi kiinnittyi hyvin yhden sekunnin saumausajalla. Pienemmällä liiman määrällä sauman lujuus tuntui heikommalta heti saumauksen jälkeen. Kuivana näytteiden vetolujuus oli 35 – 45 % ja kosteusaltistuksen jälkeen vetolujuus oli vain n. 15 – 20 % kilpailijan teipin vetolujuudesta.



Kuva 21 PVAc-akrylaatti dispersion arviointi toisen testikierroksen jälkeen.

Tärbkelys-styreeni-akrylaatti dispersiota testattiin myös 100 g neliömassaisella voimapaperilla, jossa päällystettä oli 30-35 g/m². Tällä päällystemäärällä teipin kosteudenkesto heikkeni niin paljon, että yksikään testikappale ei kestänyt 4 vuorokauden kosteusaltistusta. Teippi irtosi kokonaan jokaisesta testikappaleesta ennen vetokokeita. Kuvassa 22 on esitetty tärbkelysdispersion arviointi tällä testikierroksella.

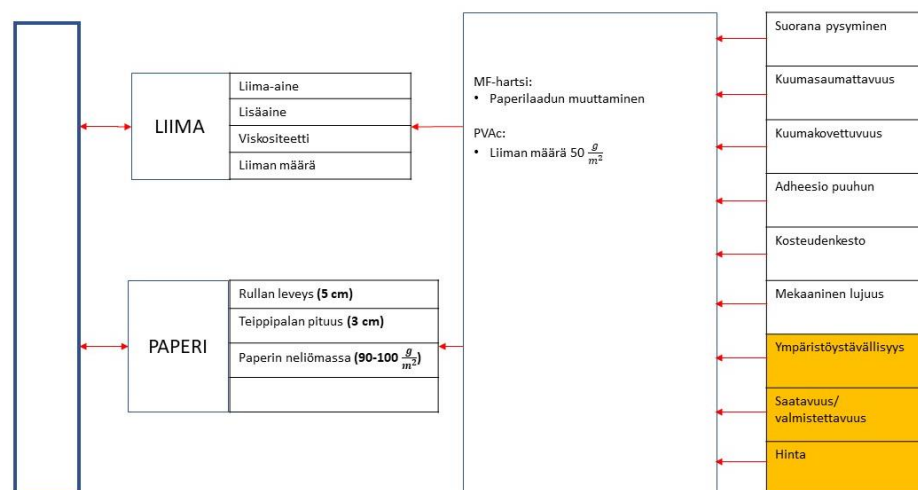


Kuva 22 Tärbkelys-SA dispersion arviointi toisen testikierroksen jälkeen.

Toisen iteraatiokierroksen perusteella jatkokehitykseen valitaan MF-hartsin ja PVAc-akrylaatti dispersio. FF-hartsin jätetään pois vetokoetestien tulosten perusteella, sillä sen vetolujuus kosteana jäi selkeästi MF-hartsia heikommaksi. Myös FMF-hartsin ominaisuudet olivat selkeästi MF-hartsia heikompia, joten se jätetään pois seuraavilta testikierroksilta. PVAc-akrylaatti pidetään testeissä mukana tämän kierroksen heikosta vetolujuudesta huolimatta mukana, sillä sauman lujuuden parantamista testataan vielä suuremmalla päällystemäärällä. Sen sijaan tärkkelys-styreeni-akrylaatti dispersio jätetään pois heikomman kosteudenkestonsa vuoksi. Paperin voimakas käyristyminen vaatisi myös jatkotoimenpiteitä, jos kyseistä dispersioita käytettäisiin märkäsaumauksessa. MF-hartsille jatkokehityksen tavoitteena on ratkaista teipin hauraus ennen saumausta. Myös paperin käyristymistä tulee pohtia varsinkin PVAc-akrylaatti dispersion kohdalla.

6.3 Kolmas iteraatiokierros

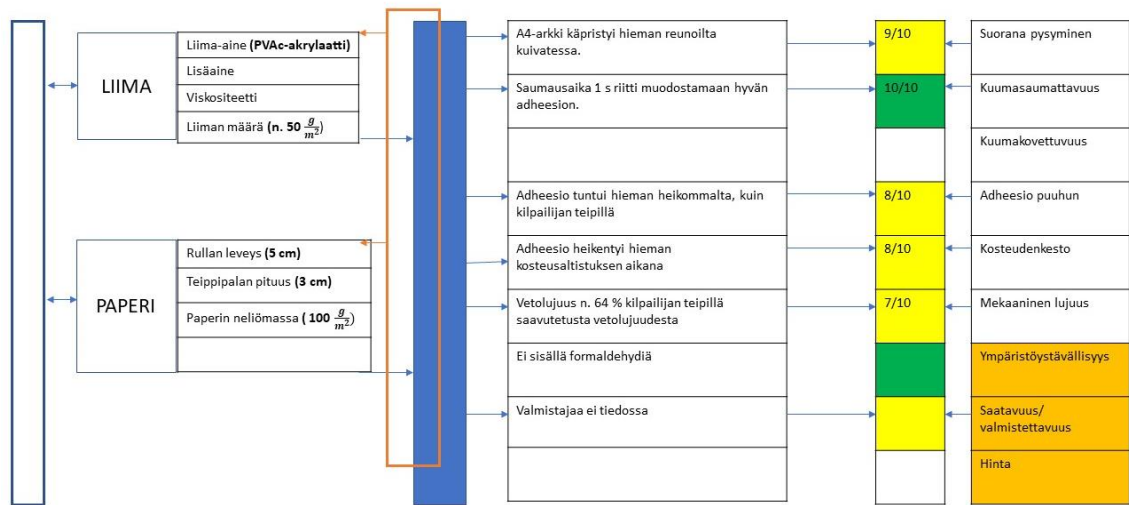
Kolmannella iteraatiokierroksella testattiin PVAc-akrylaatti dispersiota ja melamiini-formaldehydi hartsia. PVAc-akrylaatti dispersiolle valittiin sama paperi, kuin edellisillä kierroksilla ja päällysteen määrää nostettiin. MF-hartsin haurautta pyrittiin parantamaan vaihtamalla paperi lujempaan säkkipaperiin. Kolmannen iteraatiokierroksen synteesi ja tunnuspiirteisiin tehtävät muutokset on esitetty kuvassa 23.



Kuva 23 Kolmannen iteraatiokierroksen synteesi

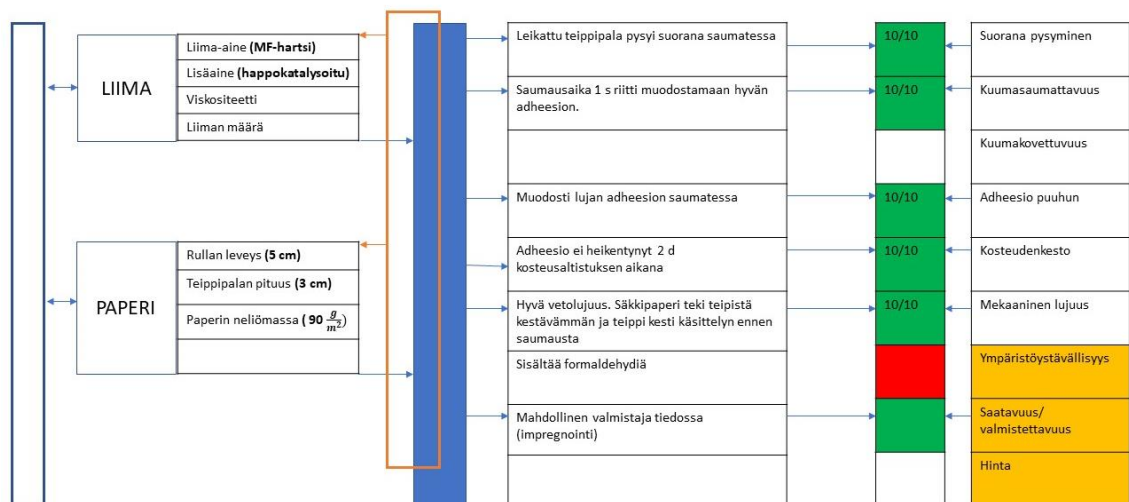
PVAc-akrylaatti dispersiosta valmistettiin näytteet päällystämällä Kotkamills Oy:n 100 g neliömassaista voimapaperia sauvapäällystimellä niin, että päällysteen määräksi saatiin 50 g/m². Märkäsaumauslämpötila oli 350 °C ja saumausaika 1 s. Näytekappaleet pidettiin kosteana 2 vuorokautta, jonka jälkeen niille suoritettiin vetokokeet. Kostean näytteen vetolujuus oli n. 64 % kilpailijan teipin vetolujuudesta. 5 / 6 näytteestä sauma

rikkoutui teipin irrottua viilusta ja yksi sauma rikkoutui paperin murtumisella. PVAc-akrylaatin arviointi kolmannen iteraatiokierroksen jälkeen on esitetty kuvassa 24.



Kuva 24 PVAc-akrylaatin arviointi 3. iteraatiokierroksen jälkeen

Aiemmillä kierroksilla MF-hartsilla päällystetyn paperin ongelmaksi muodostui paperin hauraus teippiä käsiteltäessä ennen saumausta. 3. Iteraatiokierrokselle valittiin Billerudkornäsin Prime SE WS märkäluja säkkipaperi, jonka neliömassa oli 90 g/m^2 . Paperi päällystettiin Prefere Resins Oy:llä MF-hartsilla. Säkkipaperi oli päällystettynä sitkeämpää, kuin edellisellä iteraatiokierroksella käytetty teippi, eikä murtunut näytteitä käsiteltäessä. Tämän kierroksen vetokokeissa saavutettiin 3/5 näytteellä viilun vetolujuus. Lopuissa näytteissä teippi irtosi tai katkesi. Näilläkin näytteillä, joissa sauma murtui, vetolujuus oli lähellä viilun vetolujuutta. MF-hartsin arviointi kolmannen iteraatiokierroksen jälkeen on esitetty kuvassa 25.



Kuva 25 MF-hartsin arviointi 3. iteraatiokierroksen jälkeen

Kolmannella iteraatiokierroksella saatiin parannettua teipin ominaisuuksia kummallakin liimalla verrattuna edelliseen kierrokseen. MF-hartsilla saavutettiin yhtä hyvät adheesio-ominaisuudet, kuin kilpailijan teipillä ja sauman vetolujuus ylitti viilun vetolujuuden useassa testikappaleessa. MF-hartsin ongelmana on kuitenkin sen sisältämä formaldehydi. PVAc-akrylaatin ominaisuudet paranivat edelliseen kierrokseen verrattuna, mutta jäivät hieman heikommaksi, kuin kilpailijan teipillä.

7. ARVIOINTI

Tässä kappaleessa arvioidaan teipin ominaisuuksia ja käytettyjä testimenetelmiä, sekä esitellään jatkokehityssuunnitelmat märkäsaumausteipille. Tämän jälkeen arvioidaan toteutunutta tuotekehitysprosessia ja sen toteuttamiseksi valittuja menetelmiä.

7.1 Teipin arviointi

Tämän työn tavoitteena oli määritellä märkäsaumausteipin vaatimukset, selvittää teipin ominaisuuksien väliset riippuvuussuhteet sekä testata millä materiaalivalinnoilla vaaditut ominaisuudet voitaisiin saavuttaa. Teipin vaatimukset saatiin määriteltä riittävällä tarkkuudella, jotta erilaisten materiaalivaihtoehtojen toimintaa lopullisessa tuotteessa voitiin arvioida ja käyttää arviota konseptien vertailussa. Tässä apuna oli kilpailijan valmistama teippi, jonka ominaisuuksiin kehitettävää teippiä voitiin verrata. Referenssinäytteen ansiosta tuotteen toimivuudesta voitiin tehdä arvio, vaikka tarkkoja numeerisia vaatimuksia ei ollut selvillä. Valmiin tuotteen toimivuutta märkäsaumauskoneessa ja märkäsaumausprosessin asettamia vaatimuksia ei kuitenkaan voitu tämän työn puitteissa täysin selvittää.

Teipin ominaisuuksien välisten riippuvuussuhteiden määrittelyssä kävi ilmi, että teipin ominaisuuksiin vaikuttaa eniten käytetty liimamateriaali. Toisaalta testeissä huomattiin, että ratkaisevaa on valitun liimamateriaalin ja paperin toiminta yhdessä. Paperi, joka toimi hyvin PVAc-akrylaatti dispersion kanssa, jäi liian hauraaksi päällystettynä MF-hartsilla. Teipille asetetut vaatimukset saavutettiin MF-hartsilla päällystetyllä säkkipaperilla ja se vastasi ominaisuuksiltaan kilpailijan teippiä, joten työn tavoite saavutettiin tällä materiaaliyhdistelmällä.

Projekti on nyt siinä vaiheessa, että teippiä voidaan lähteä testaamaan isommassa mittakaavassa märkäsaumauskoneella. Kaikkia vaatimuksia ja ominaisuuksia ei voida varmistaa tässä työssä suoritetuilla testeillä, vaan käytännön kokemus teipin testaamisesta varsinaisella märkäsaumauskoneella näyttää lopulta, kuinka tuote toimii oikeassa valmistusympäristössä. Tämän jälkeen voidaan optimoida teipin lopulliset ominaisuudet.

Useimpia vaatimuksia pystyttiin mallintamaan testausjärjestelyillä, mutta teipin kaareutumisen mallintaminen testikappaleilla on hankalaa. Arkkimuotoisten näytteiden

käyttäytyminen on erilaista kuin teippirullan, joten varmoja johtopäätöksiä päällystetyn A4-arkin käyttäytymisen perusteella ei voida tehdä. Kun teippiä lähdetään valmistamaan päällystyslinjastolla, tulee liiman viskositeetti säätää linjastolle sopivaksi. Tämä voi osaltaan vaikuttaa päällystetyn paperin kaareutumiseen.

Koska numeerisia arvoja teipin lujuusvaatimuksista ei ollut saatavilla, tässä työssä teippiä verrattiin kilpailijan teippiin. Tavoitteena oli saavuttaa vähintään yhtä hyvät saumautumis- ja lujuusominaisuudet, kuin kilpailijan teipillä. MF-hartsilla sauman vetolujuus ylitti puun vetolujuuden, joten lujuutta voidaan pitää riittävänä. PVAc-akrylaatti dispersiolla päästiin n. 64 % vetolujuuteen verrattuna kilpailijan teippiin. Kilpailijan teipillä vetolujuus oli useassa testikappaleessa suurempi kuin viilun. Voidaan siis olettaa, että niin suuria vetolujuuksia ei tuotannossa viiluun kohdistu, sillä viilun siirtäminen linjastolla ei voi aiheuttaa puun rakennetta vaurioittavia jännityksiä. On mahdollista, että testeissä saavutettu 64 % vetolujuus olisikin riittävä tuotannossa. Tämä voidaan kuitenkin varmistaa vain tuotannossa tehtävillä koeajoilla.

Testikappaleiden vetolujuudessa huomattiin suurta variaatiota, johtuen puun ominaisuuksien vaihtelusta näytekappaleiden välillä. Viilu katkesi näytteissä 137,5 – 220,13 N voimalla. Suuret variaatiot aiheuttavat epävarmuutta vetokoetestien perusteella tehtyihin johtopäätöksiin varsinkin pienillä näytesarjoilla. Myös viilun kosteusprosenttia ei tämän työn puitteissa pystytty tarkistamaan näytteitä testatessa, joten viilun kosteusprosentti voi vaihdella eri näytteiden välillä. Kosteuserot vaikuttavat teipin kiinnittymiseen. Tämän vuoksi suoria johtopäätöksiä teipin toiminnasta tuotannossa ei voida näiden testien perusteella tehdä. Koejärjestelyllä sen sijaan saatiin vertailtua eri materiaalivaihtoehtoja keskenään, jolloin voitiin valita parhaat jatkokehitykseen.

Tässä projektissa keskityttiin ainoastaan parhaan mahdollisen materiaaliyhdistelmän löytämiseen. Tämän vuoksi työssä ei lainkaan otettu kantaa kehitettävän teipin kustannuksiin. Märkäsaumausteipin kulutus vanerin valmistuksessa on muuhun materiaalin kulutukseen verrattuna vähäistä ja toisaalta saumauksen toimiessa hyvin teipillä voidaan säästää puuraaka-ainetta ja nopeuttaa valmistusprosessia. Näin ollen ensisijaiseksi nousee tuotteen toiminnallisuus. Hinta kuitenkin vaikuttaa tuotteen kilpailukykyyn, eikä sitä voida ohittaa, kun tuotteessa käytettäviä materiaaleja lopullisesti valitaan.

Työn teoriaosuus antoi hyvän pohjan liiman valmistajien kanssa käytävään keskusteluun testattavien liimojen valinnasta. Testattavien liimamateriaalien valinnassa kuitenkin rajoittavana tekijänä on liiman pieni kulutus. Liiman valmistajien ei ole kannattavaa lähteä kehittämään täysin uutta liimaa vain märkäsaumaussovellusta varten, sillä liiman ostomäärät tulevat olemaan suhteellisen pieniä esimerkiksi vaneriliimoihin verrattuna. Samasta syystä ei ollut kannattavaa tai edes mahdollista lähteä testaamaan kovin innovatiivisia liimamateriaaleja, vaan liimat valittiin liiman valmistajien nykyvalikoimasta.

Yhtenä tavoitteena oli löytää ympäristöystävällisempi liima, joka ei sisällä formaldehydiä. Vaikka luonnonmateriaaleista valmistetuilla liimoilla ei vielä vaadittuja ominaisuuksia saavutettu, saatiin kuitenkin hyviä tuloksia formaldehydiä sisältämättömällä PVAc-akrylaatti dispersiolla. Luonnonmateriaaleista valmistettuja adhesiiveja tutkitaan paljon ja kirjallisuuden perusteella niiden käyttöönottoon on selvästi kiinnostusta vaneriteollisuudessa. Paljon on kuitenkin vielä tehtävää, jotta näitä liimoja voidaan käyttää laajamittaisesti kosteudenkestoa vaativissa sovelluksissa.

7.2 Jatkokehityssuunnitelmat

Koska kaikkia vaatimuksia ei voida testata ja varmistaa tässä työssä esitellyillä testeillä, on teipin tuotekehityksessä seuraava vaihe teippirullien valmistaminen testattavaksi märkäsaumauskoneessa. Tätä varten tulee liima modifioida niin, että se toimii päällystyslinjastolla. Lisäksi tulee löytää päällystäjä, jolta voidaan ostaa paperirullan päällystys. Päällystetyt paperirullat on vielä leikattava pituussuunnassa teipin leveyteen. Valmiita rullia päästään testaamaan märkäsaumauskoneessa.

On mahdollista, että materiaaleihin joudutaan tekemään vielä muutoksia tuotannossa testauksen jälkeen. Tarvittaessa paperin lujuutta voidaan parantaa päällystämällä paperi ennen liiman levitystä. Paperin esipäällystyksellä voitaisiin myös vähentää paperin kaareutumista, jos se havaitaan ongelmaksi märkäsaumauskoneella.

Osiossa 4.4.1 esiteltiin Dai et al. (2009) tekemä tutkimus, jossa polyuretaaniliimoilla saavutettiin hyviä tuloksia märkäsaumaustestissä. Kyseisen tutkimuksen perusteella myös polyuretaaniliima voisi olla testaamisen arvoinen, jos havaitaan, ettei PVAc-akrylaatti toimi halutusti tuotannossa. Huomioitavaa on, että polyuretaaniliimaa täytyy modifioida ristosilloituslisäaineella, jotta se saadaan kestäämään korkeita lämpötiloja. Usein ristosilloittajana käytetään isosyanaatteja, jotka ovat formaldehydin tapaan ihmiselle haitallisia. Packham (2005) mukaan polyuretaaniliimojen kovettumisnopeus on

hitaampi verrattuna formaldehydihartseihin, joten on todennäköistä, että polyuretaaniliimoissa tulee käyttää katalyyttiä vaaditun saumausnopeuden saavuttamiseksi.

Viimeisen parin vuoden aikana tehty paljon tutkimuksia vanerin liimauksesta luonnonmukaisemmilla liimoilla ja tavoitteena tutkimuksissa on korvata edes osa formaldehydihartseista luonnonmukaisemmilla vaihtoehdoilla. Nykytilanteessa saumausteipin formaldehydin määrä on kuitenkin vanerin liimauksessa käytetyn liiman formaldehydipäästöihin verrattuna niin pieni, ettei sillä ole kokonaisuuden kannalta suurta merkitystä.

7.3 CPM/PDD-menetelmän hyödyntäminen

Tämä työ toteutettiin Christian Weberin CPM/PDD-menetelmän mukaisesti. Tuotekehitysmenetelmän valinta ei ollut selkeä heti alussa. Alussa projektisuunnitelmaa pyrittiin tekemään tarkan prosessikuvauksen mukaisesti. Yleinen tuotekehitysprosessi tai State-Gate-menetelmä olisi ollut sovellettavissa myös tähän tuotekehitysprojektiin ja oikeastaan projekti onkin edennyt näiden prosessien mukaisessa järjestyksessä, kuten seuraavassa osiossa huomataan. Ongelma muodostui, kun tuotekehitysprosessia yritettiin viedä eteenpäin keskittyen liiaksi prosessiin ilman kunnollista perehtymistä tuotteen toimintaan.

CPM/PDD-menetelmän käyttöönotto vaati paljon taustatyötä. CPM/PDD-menetelmän käytöstä löytyy hyvin vähän käytännön esimerkkejä, joten aiheeseen perehtyminen vei aikansa. Toisaalta CPM/PDD-menetelmän käyttö myös vaati tietynlaisen ajattelutavan muutoksen, kun tuotekehitysprojektia aloittaessa ensimmäinen ajatus oli prosessin valinnassa ja sen yksityiskohtaisessa määrittelemisessä.

Tässä työssä tuote oli jo projektin alussa pitkälle määritelty ja märkäsaumauskoneen ominaisuudet toivat rajoitteita teipille. Huomioitavaa on, että esimerkiksi Ulrich ja Eppingerin yleisessä tuotekehitysmallissa tuotteen vaatimukset määritellään asiakastarpeista. Tässä työssä vaatimukset sen sijaan tulivat prosessista, jossa tuotetta käytetään. Näin ollen vaatimusten määrittelyprosessi poikkeaa Ulrich ja Eppingerin esittelemästä prosessista.

Tässä työssä saatiin keskittyä vain parhaan mahdollisen tuotteen kehittämiseen. Usein teollisuudessa tuotekehitysprojektit eivät ole näin tuoteorientoituneita. Tuotekehitysprosessissa on mukana useita eri osapuolia ja joudutaan tekemään taloudellisia kompromisseja. Optimaalisen tuotteen kehittäminen ei yksinään takaa menestystä markkinoilla tai tuotteen kannattavuutta yritykselle. (Lehtonen, Juuti et al. 2011)

Vaikka märkäsaumauskoneen ominaisuuksien ja kilpailijan teipin perusteella voitiin tuotteelta vaaditut ominaisuudet ja tunnuspiirteet määritellä hyvin pitkälle jo prosessin alussa, oli CPM/PDD-menetelmän käytöstä hyötyä prosessissa. Menetelmä on hyvin konkreettinen ja projektin vaiheet on määriteltä tarkasti. PDD-mallin mukaiset analyysikuvat tekevät vaiheiden tarkastelusta ja eri konseptien vertailusta helppoa. Tämä takasi sen, että jokaisen konseptin kehitystarpeet olivat selkeästi esillä ja päätökset jatkokehitykseen valittavista materiaaleista oli helppo tehdä.

Iteroinnin ansiosta huomattiin, että testiolosuhteisiin liittyy useita muuttuvia tekijöitä, jotka vaikuttavat testituloksiin. Viilun lujuus vaihteli suurestikin testikappaleiden välillä, johtuen puun rakenteesta. Myös viilun kosteus vaikutti merkittävästi saumauksen lopputulokseen. Viilun kosteusprosentin mittaaminen ei tässä työssä ollut mahdollista, eikä näin ollen vetolujuuksia eri iteraatiokierrosten välillä voida vertailla keskenään. Kävi myös ilmi, että yksin paperin tai liiman ominaisuudet eivät ole ratkaisevia, vaan niiden toimivuus yhdessä. Paperi, joka toimi hyvin PVAc-akrylaatti dispersion kanssa jäi liian hauraaksi yhdistettynä MF-hartsiin.

CPM/PDD-menetelmän etuna on se, että siinä keskitytään prosessin sijasta tuotteeseen. Menetelmä keskittyy määrittelemään tunnuspiirteet ja ominaisuudet ja syventymään näiden välisiin riippuvuussuhteisiin. Kun nämä lähtökohdat ovat kunnossa voidaan tuotekehitysprosessissa kehittää oikeita asioita. Yhteenvetona voidaan todeta, että CPM/PDD-menetelmä sopi hyvin tähän kyseiseen tuotekehitysprojektiin. Projektin aikataulu oli hyvin rajallinen ja CPM/PDD-menetelmä teki konseptien vertailusta selkeää jo nopeaa, kun alussa tunnuspiirteet ja ominaisuudet oli hyvin tunnistettu ja määriteltä.

7.4 Tuotekehitysprosessin arviointi

Tuotekehitysprosessi tulee valita projektin lähtötietojen perusteella. Kun tunnistetaan, kuinka paljon projektin alussa tiedetään tuotteesta, ja kuinka paljon tuotteen

vaatimuksista on määritelty jo ennalta, voidaan valita kyseiselle projektille sopivat prosessit ja menetelmät. Tässä projektissa ongelma ja tavoite olivat hyvin pitkälle määriteltyjä ja osa tuotteelta vaadituista tunnuspiirteistä oli tiedossa. Lehtonen et al. (2011) mukaan tämän kaltaiselle tuotekehitysprojektille sopii melko lineaarinen ennalta määritelty prosessi

Työstä laadittiin prosessin alussa virtauskaavio, jolla havainnollistettiin työn etenemistä ja työn tuloksia. Virtauskaavio täydentyi ja muokkaantui työn edetessä. Kaavio etenee toteutuneen tuotekehitysprosessin mukaisesti ja vastaa tämän työn rakennetta. Virtauskaavio toteutettiin niin, että lähtökohtana olivat prosessin tuotokset. Vaikka prosessi ei edennyt tietoisesti minkään valitun prosessimallin mukaisesti, voidaan huomata virtauskaavion vastaavan Ulrich ja Eppingerin esittelemää spiraalista tuotekehitysprosessia, joka on esitetty osiossa 2.3. Tämän kaltaisen prosessi onkin tyypillinen ns. ”quick-build”-tuotteilla, joiden prototyyppien rakentaminen ja testaaminen on nopeaa. Tällöin testikierroksia voidaan toteuttaa useita. Spiraaliprosessissa testaamisella kerätään tietoa, jonka perusteella tuotetta parannetaan seuraavilla kierroksilla. Tämän työn virtauskaavio on esitetty liitteessä A.

Virtauskaavion laatiminen aloitettiin prosessin tavoitteesta, eli valmiista tuotteesta, joka toimii viulun märkäsaumauskoneessa. Teipin valmistamiseksi tarvitsee valmistaa liima ja paperi, päällystää paperirulla ja leikata se paperin pituussuunnassa. Teippirullien valmistaminen jätettiin tämän projektin ulkopuolelle aikataulun rajallisuuden vuoksi. Tähän työhön kuulumaton osuus on rajattu virtauskaaviossa katkoviivalla. Tämän työn tavoitteena oli selvittää vaatimukset teipille ja löytää toimivat materiaalit, joilla vaaditut ominaisuudet saavutetaan.

Prosessin virtauskaavion laatiminen helpotti työn rakenteen suunnittelua, mutta työn alussa prosessin tarkkamäärittely olisi ollut hankalaa. Esimerkiksi Stage-Gate-mallissa ongelmaksi olisi muodostunut prosessin tarkoin määrätyt vaiheet. Stage-Gate-mallissa jokaisella portilla projektin eteneminen arvioidaan ja tehdään päätös jatkosta, eikä edellisiin vaiheisiin enää palata. Sen sijaan CPM/PDD-menetelmän seuraaminen toi tarvittavaa vapautta prosessiin, vaikka jokainen työvaihe olikin määritelty.

Vaikka tässä projektissa on ollut apuna useita eri alojen ammattilaisia, on tämä kuitenkin ollut yhden ihmisen tuotekehitysprojekti. Tämän kaltaisessa projektissa ei prosessin määrittely nouse niin tärkeäksi, kuin projektissa, jossa mukana on useita henkilöitä. Suuremmissa projekteissa tarkkaan määritelty prosessikuvaus takaa sen, että jokainen

projektiin osallistuva on selvillä projektin etenemisestä. Tässä prosessissa saatiin enemmän hyötyä tuotteen syvällisestä ymmärtämisestä ja ominaisuuksien ja tunnuspiirteiden välisten riippuvuussuhteiden tuntemisesta, kuin tarkasti määritellystä prosessista.

8. YHTEENVETO

Tässä työssä paras mekaaninen lujuus saavutettiin melamiini-formaldehydihartsilla ja märkälujalla säkkipaperilla. Tällä yhdistelmällä teipin ja sauman vetolujuudet ylittivät viulun vetolujuuden. Melamiini-formaldehydihartsin ongelmana oli sen hauraus, jolloin ensimmäisillä testikierroksilla käytetyt, voimapaperista valmistetut, näytteet murtuivat näytteitä käsiteltäessä ennen saumausta. Sitkeys parani, kun paperiksi vaihdettiin säkkipaperi. PVAc-akrylaatti dispersiolla saavutettiin noin 64 % vetolujuus verrattuna kilpailijan teippiin. Tämä voi olla riittävä lujuus, sillä kilpailijan teipin lujuus ylitti useilla testikappaleilla viulun vetolujuuden. Niin suuria, viulun rakennetta rikkovia, voimia ei tuotannossa saumaan tule kohdistumaan. PVAc-akrylaatti dispersion etuna on sen formaldehydittömyys.

Jatkokehityssuunnitelmana esitetään, että sekä MF-hartsin että PVAc-akrylaatti dispersio testataan tuotanto-olosuhteissa. Kaikkia ominaisuuksia ei voida varmistaa tässä työssä esitellyillä testimenetelmillä, joten testaaminen tuotanto-olosuhteissa on tarpeen, jotta lopulliset päätelmät teipin toiminnasta voidaan tehdä. Jotta teippiä voidaan testata märkäsaumauskoneella, tulee teipistä valmistaa koneeseen sopivat rullat. Rullan koneellista päällystystä varten voi olla tarpeen modifioida liiman koostumusta. Paperin käyristymistä, kun sitä käytetään 5 cm leveänä teippinauhana, ei voida varmasti ennustaa tässä työssä tehdyillä testeillä. Jos paperin käyristyminen ilmenee ongelmaksi tuotannossa, voidaan paperi esipäällystää käyristymisen estämiseksi.

CPM/PDD-menetelmää käytettiin tässä työssä tuotteen ominaisuuksien määrittelyssä ja konseptien vertailussa. Menetelmä auttoi määrittelemään työn alussa vaatimukset mahdollisimman tarkasti ja toisaalta auttoi konseptien vertailussa työn edetessä. CPM/PDD-menetelmän mukaiset kuvat auttoivat konseptien vertailussa ja kehityskohteet oli helppo havaita, kun jokaisen testikierroksen tulokset olivat selkeästi nähtävillä.

LÄHTEET

AKKANEN, I., JÄNNES, T., KEKKI, M., KIISKI, T., KORTELAINE, V., LIND-KOHVAKKA, S., LISKI, K., MÄKINEN, T., PAJUOJA, H., RAINIO, J., RÄSÄNEN, T., SILVENTOINEN, I., TARVAINEN, I., TORNIAINEN, P., TYNKKYNNEN, T., VARIS, R., (2017), Puulevyteollisuus, Kirjakaari Oy, s. 29-159

BRANDER, J., THORN, I., (1997), Surface Application of Paper Chemicals, Springer Netherlands, pp. 69-108.

BREWIS, D.M., BRIGGS, D., (1985), Industrial adhesion problems, Orbital Press, pp. 1-147

CONDRAD, J., KÖHLER, C., WANKE, S., WEBER, C., (2008), What is design knowledge from the viewpoint of CPM/PDD? International design conference, Dubrovnik, Croatia, May 19-22, 2008, pp. 745-752

COOPER, R.G., (2011), Winning at new products: creating value through innovation, Basic Books, pp.83-117

DAI, C., HE, G., XU, H., (2009), Feasibility of composing green mountain pine beetle veneers, Pacific forestry center, 18 p.

DUNKY, M., PIZZI, A., (2002), The Mechanics of Adhesion, Elsevier Science B.V., pp. 1039-1103

EDGETT, S.J., (2018), The Stage-Gate® Model: An Overview, State-Gate international, 5 p.

EL MANSOURI, N., PIZZI, A., SALVADÓ, J., (2006), Lignin-based wood panel adhesives without formaldehyde, Holz als Roh- und Werkstoff, vol. 65, Springer-Verlag, pp. 65

ELLIS, R.P., COCHRANE, M.P., DALE, M.F., DUFFUS, C.M., LYNN, A., MORRISON, I.M., PRENTICE, R.D., SWANSTON, J.S., TILLER, S.A., (1998), Starch production and industrial use, Journal of the science of food and agriculture, vol. 77, SCI, pp. 289-311.

FAN, D., CHANG, J., LI, J., XIA, B., SANG, Z., (2011), Cure properties and adhesive performances of cure-accelerated phenol-urea-formaldehyde resins, European Journal of Wood and Wood Products, vol. 69, Springer-Verlag, pp. 213-220.

FERDOSIAN, F., PAN, Z., GAO, G., ZHAO, B., (2017) Bio-Based Adhesives and Evaluation for Wood Composites Application, vol. 9, MDPI AG, 29 p.

GADHAVE, R.V., MAHANWAR, P.A., GADEKAR, P.T., (2018), Starch Stabilized Polyvinyl Acetate Emulsion: Review, Polymers from Renewable Resources, vol. 9, Smithers Information Ltd, pp. 75-84.

GU, Y., CHENG, L., GU, Z., HONG, Y., LI, Z., LI, C., (2019), Preparation, characterization and properties of starch-based adhesive for wood-based panels, International Journal of biological macromolecules, Elsevier B.V., pp. 247-254.

KALAMI, S., CHEN, N., BORAZJANI, H, NEJAD, M., (2018), Comparative analysis of different lignins as phenol replacement in phenolic adhesive formulations, *Industrial Crops and products*, vol. 125, Elsevier B.V., pp 520-528.

KIM, H., LIM, D., HWANG, H., LEE, B., (2018), *Handbook of Adhesion Technology*, Springer International Publishing, pp. 319-343.

KOPPA, Tapaustutkimus [verkkojulkaisu], verkkosivu saatavissa (viitattu 20.1.2019): <https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/tapaustutkimus>

KOSKISEN, Viilut kuivaksi liimausta varten [verkkojulkaisu], verkkosivu saatavissa (viitattu 18.12.2018): <https://omistautunutpuulle.koskisen.fi/fi/puunjalostus/viilut-kuivaksi-liimausta-varten>

LEHTONEN, T., JUUTI, T., OJA, H., SUISTORANTA, S., PULKKINEN, A., RIITAHUHTA, A., (2011), A framework for developing viable design methodologies for industry, *Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design*, Lyngby/Copenhagen, Denmark, 15.-19.08.2011pp. 405-416.

LIN, D., KUANG, Y., CHEN, G., KUANG, Q., WANG, C., ZHU, P., PENG, C., FANG, Z., (2017), Enhancing moisture resistance of starch-coated paper by improving the film forming capability of starch film, *Industrial Crops and Products*, vol. 100, Elsevier B.V., pp. 12-18.

MAMIŃSKI, M.L., BORYSIUK, P., ZADO, A., (2008), Study on the water resistance of plywood bonded with UF-glutaraldehyde adhesive, *Holz als Roh- und Werkstoff*, vol. 66, Springer-Verlag, pp. 469-470.

MANSOURI, H.R., NAVARRETE, P., PIZZI, A., TAPIN-LINGUA, S., BENJELLOUN-MLAYAH, B., PASCH, H., RIGOLET, S., (2011) Synthetic-resin-free wood panel adhesives from mixed low molecular mass lignin and tannin, *European Journal of Wood and Wood Products*, vol. 69, Springer-Verlag, pp. 221-229.

MANSOURI, H.R., PIZZI, A. and LEBAN, J., 2005. Improved water resistance of UF adhesives for plywood by small pMDI additions. *Holz als Roh- und Werkstoff*, vol. 64, Springer-Verlag, 218 p.

PACKHAM, D.E., (2005), *Handbook of Adhesion*, John Wiley & Sons, pp. 600-620

POCIUS, A.V., (2002), *Adhesion and Adhesives Technology*, Carl Hanser Verlag, pp.133-163

QIAO, L., COVENY, P.K., EASTEAL, A.J., (2002), Modifications of poly(vinyl alcohol) for use in poly(vinyl acetate) emulsion wood adhesives, *Pigment & Resin Technology*, vol. 31, pp. 88-95.

QIAO, L., EASTEAL, A.J., (2001), Aspects of the performance of PVAc adhesives in wood joints, vol. 30, pp. 79-87.

QIAO, L., EASTEAL, A.J., BOLT, C.J., COVENY, P.K., FRANICH, R.A., (2000), Improvement of the water resistance of poly(vinyl acetate) emulsion wood adhesive. *Pigment & Resin Technology*; vol. 29, 152 p.

RENNIE, R., LAW, J., (2016), A dictionary of chemistry (7 ed.), Oxford University Press, 640 p.

SAARANEN-KAUPPINEN, A., PUUSNIEKKA, A., (2006), KvaliMOTV - Menetelmäopetuksen tietovaranto [verkkajulkaisu], Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietovarasto [ylläpitäjä ja tuottaja], verkkosivu saatavissa (viitattu 10.4.2019): <<https://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/>>.

SALVINI, A., SAIJA, L.M., FINOCCHIARO, S., GIANNI, G., GIANNELLI, C., TONDI, G., (2009), A new methodology in the study of PVAc-based adhesive formulations, *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 114, pp. 3841-3854.

SUJATHA, D., NATH, S.K., MAMATHA, B.S., (2017), Adhesives of Bio-origin for Wood Composites, *Wood is good*, Springer, pp. 323-332.

ULRICH, K.T., EPPINGER, S.D., (2012), Product design and development, Mc Graw Hill Education, 415 p.

VOLAMA, J., (2012), Ligniini teollisessa valmistuksessa ja sen kaupalliset mahdollisuudet, Miktech Oy, 22 s.

WANG, S., PIZZI, A., (1997), Succinaldehyde induced water resistance improvements of UF wood adhesives, *Holz als Roh- und Werkstoff*, vol. 55, pp. 9-12.

WANG, Z., LI, Z., GU, Z., HONG, Y., CHENG, L., (2012), Preparation, characterization and properties of starch-based wood adhesive, *Carbohydrate Polymers*, vol. 88, pp. 699-706.

WEBER, C., DEUBEL, T., (2003), New Theory-based concepts for PDM and PLM, *Proceedings of ICED 03, the 14th International Conference on Engineering Design*, Stockholm, pp. 429-430.

WHISTLER, R.L., (2009), *Starch: Chemistry and Technology*, Elsevier Science & Technology, pp. 629-648.

XI, X., PIZZI, A., AMIROU, S., (2017), Melamine–Glyoxal–Glutaraldehyde Wood Panel Adhesives without Formaldehyde, *MDPI AG*, 18 p.

ZIA-UD-DIN, CHEN, L., ULLAH, I., WANG, P.K., JAVAID, A.B., HU, C., ZHANG, M., AHAMD, I., XIONG, H., WANG, Z., (2018), Synthesis and characterization of starch-g-poly(vinyl acetate-co-butyl acrylate) bio-based adhesive for wood application. *International journal of biological macromolecules*, vol. 114, pp. 1186-1193.

LIITE A: PROJEKTIN VIRTAAUSKAAVIO

